



**TUGAS AKHIR - TM 091486**

**ANALISA PENGARUH KETEBALAN INTI (CORE)  
*POLYURETHANE* TERHADAP KARAKTERISTIK  
*BENDING* KOMPOSIT SANDWICH**

**PRAMADITYA ARDIYANTO**  
**NRP 2109 100 130**

**DOSEN PEMBIMBING**  
**Putu Suwarta, ST, M.Sc.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**Fakultas Teknologi Industri**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya**  
**2014**



**FINAL PROJECT - TM 091486**

# **THICKNESS EFFECT OF POLYURETHANE FOAM CORE ON THE FLEXURAL BEHAVIOUR OF COMPOSITE SANDWICH MATERIALS**

**PRAMADITYA ARDIYANTO  
NRP 2109 100 130**

**Advisor Lecturer  
Putu Suwarta, ST, M.Sc.**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya  
2014**

**ANALISA PENGARUH KETEBALAN INTI (CORE)  
POLYURETHANE TERHADAP KARAKTERISTIK  
BENDING KOMPOSIT SANDWICH**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Metalurgi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**PRAMADITYA ARDIYANTO**

Nrp. 2109 100 130

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Putu Suwarta, ST, MSc. .... (Pembimbing)  
2. Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA. .... (Penguji I)  
3. Indra Sidharta, ST, MSc. .... (Penguji II)  
4. Wahyu Wijanarko, ST, MSc. .... (Penguji III)

**SURABAYA  
JULI 2014**

**ANALISA PENGARUH KETEBALAN INTI (CORE)  
POLYURETHANE TERHADAP KARAKTERISTIK  
BENDING KOMPOSIT SANDWICH**

**Nama Mahasiswa** : Pramaditya Ardiyanto  
**NRP** : 2109100130  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Putu Suwarta, ST, MSc.

**Abstrak**

Komposit *sandwich* dapat diaplikasikan sebagai struktural maupun *non*-struktural bagian internal dan eksternal pada pesawat, konstruksi, bus, truk, dan jenis kendaraan yang lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh ketebalan tebal *core* terhadap karakteristik *bending* komposit *sandwich glass fiber reinforce plastic* (GFRP) dengan *core polyurethane* dan model kegagalan komposit *sandwich*. Penggunaan *polyurethane* sangat baik dalam proses peredaman getaran ataupun pada penyerapan energi sedangkan GFRP memiliki kestabilan dimensi yang baik, tahan terhadap bahan kimia, isolator listrik yang baik, mampu dibentuk dengan baik, cocok untuk produksi massal dengan berbagai proses produksi, dan rasio kekakuan yang cukup tinggi. Penggabungan kedua bahan tersebut dapat menghasilkan material yang kuat, kaku, ringan, dan tahan terhadap korosi.

Penelitian diawali dengan proses pemotongan *polyurethane* dengan variasi ketebalan 2mm, 5mm, dan 8mm. Kemudian dilanjutkan dengan membuat komposit *sandwich* dengan perbandingan fraksi volume *woven WR600* dengan resin *polyester Yukalac 157 BTQN-EX 32 : 68* untuk bagian kulit. Proses pembuatan menggunakan metode *hand lay up*, dengan susunan [(0/90)<sub>4</sub>], PU(2mm, 5mm, 8mm). Pada bagian kulit terdiri dari 4 lapisan *woven roving* dan polyester dan [(0/90)<sub>4</sub>]. Proses *curing* dilakukan selama ±24 jam. Hasil cetakan dipotong

sesuai ukuran untuk specimen *bending* ASTM C 393 dan ASTM D 790M menggunakan *cutting wheel* / gerinda tangan.

Dengan penambahan *core polyurethane* didapatkan hasil bahwa nilai kekuatan *bending* mengalami penurunan seiring dengan penambahan inti *polyurethane*, untuk menghasilkan kekuatan *bending* maksimal adalah pada tebal inti 2 mm sebesar 59,595 Mpa. Dengan penambahan tebal inti *polyurethane* pada komposit *sandwich* mengalami peningkatan nilai kekakuan seiring dengan penambahan inti *polyurethane*, untuk menghasilkan kekakuan *bending* maksimal adalah pada tebal inti 8 mm sebesar  $145,449 \times 10^6 \text{ Nmm}^2$ . Sedangkan kegagalan yang nampak pada ketebalan inti *polyurethane* 2 mm dan 5 mm adalah *micro buckling* dan pada ketebalan inti *polyurethane* 8 mm kegagalan komposit *sandwich* didominasi oleh *facesheet debonding*.

**Kata kunci : Komposit Sandwich, GFRP, Polyurethane, Tebal Core, Pengujian Bending**



# **THICKNESS EFFECT OF POLYURETHANE FOAM CORE ON THE FLEXURAL BEHAVIOUR OF COMPOSITE SANDWICH MATERIALS**

**Name : Pramaditya Ardiyanto**  
**ID : 2109 100 130**  
**Department : Mechanical Engineering**  
**Advisor Lecturer : Putu Suwarta, ST, MSc.**

## **Abstract**

Composite sandwich can be applied as structural and non-structural internal and external parts of the aircraft, construction, buses, trucks, and other types of vehicles. This study aimed to investigate the effect of core thickness on the characteristics of bending sandwich composite glass fiber reinforce plastic (GFRP) with a polyurethane core and sandwich composite failure models. The use of polyurethane is excellent for vibration damping in the process or the energy absorption while GFRP has good dimensional stability, chemical resistance, good electrical insulator, able to set up properly, suitable for mass production with a variety of production processes, and the fairly high stiffness ratio. Merging the two materials can produce a material that is strong, rigid, ringang, and resistant to corrosion.

The study begins with the process of cutting 2mm polyurethane with thickness variation, 5mm and 8mm. Then proceed to make a sandwich composite with volume fraction ratio wofen WR600 with polyester resin Yukalac 157 BTQN-EX 32: 68 in the skin. The process of making using hand lay-up method, skin consists of 4 layers of woven roving and polyester with the arrangement of [(0/90) 4], PU (2mm, 5mm, 8mm), [(0/90) 4]. curing process for  $\pm 24$  hours. Print is cut according to the size of the specimen bending ASTM C 393 and ASTM D 790M using whell cutting / grinding hand.

With the addition of polyurethane cores obtained results that the bending strength stand to drop along the addition of a polyurethane core, to produce a maximum bending strength is at the core thickness 2 mm size of 59.595 MPa. With the addition of thick polyurethane core in composite sandwich stand to increase the stiffness of the core along the addition of polyurethane, to produce the maximum bending stiffness is at the core thickness of 8 mm size  $145.449 \times 106 \text{ Nmm}^2$ . While the failure to look at the thickness of the polyurethane core 2 mm and 5 mm are micro buckling and core thickness of 8 mm polyurethane sandwich composite failure is dominated by the facesheet debonding.

**Keyword : Composite Sandwich, GFRP, Polyurethane, Core Thickness, Bending Tests.**

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah, dan kasih penulisNya hingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul: **Analisa Pengaruh Ketebalan Inti (*core*) Polyurethane Terhadap Karakteristik Bending Komposit Sandwich**. Pada kesempatan ini penulis bermaksud untuk mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Ir.**Suyanto** dan Ibu **Dra. koesnawati**, untuk segala doa, restu, kasih sayang yang diberikan.
2. **Putu Suwarta,ST,M.Sc.** selaku dosen wali dan dosen pembimbing tugas akhir ini. Terima kasih untuk semua waktu, kritik, saran, dan motivasi yang diberikan.
3. **Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA, Dr. Sutikno, ST, MT, Wahyu Wijanarko, ST, MSc, dan Indra Sidharta, ST, MSc** selaku dosen penguji tugas akhir. Terima kasih atas nasehat dan saran yang telah diberikan.
4. Seluruh Keluarga Besar Barisan Tentara “Republik Metallurgy Raya yang telah membantu menukseskan penyelesaian tugas akhir ini.
5. *The special one*, Saudari **Andini Masito** terimakasih atas bantuan serta motivasi yang diberikan untuk penulis selama penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis sadar bahwa penulisan tugas akhir ini memiliki banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan dan kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua. Amin.

Surabaya, Juli 2014

Penulis



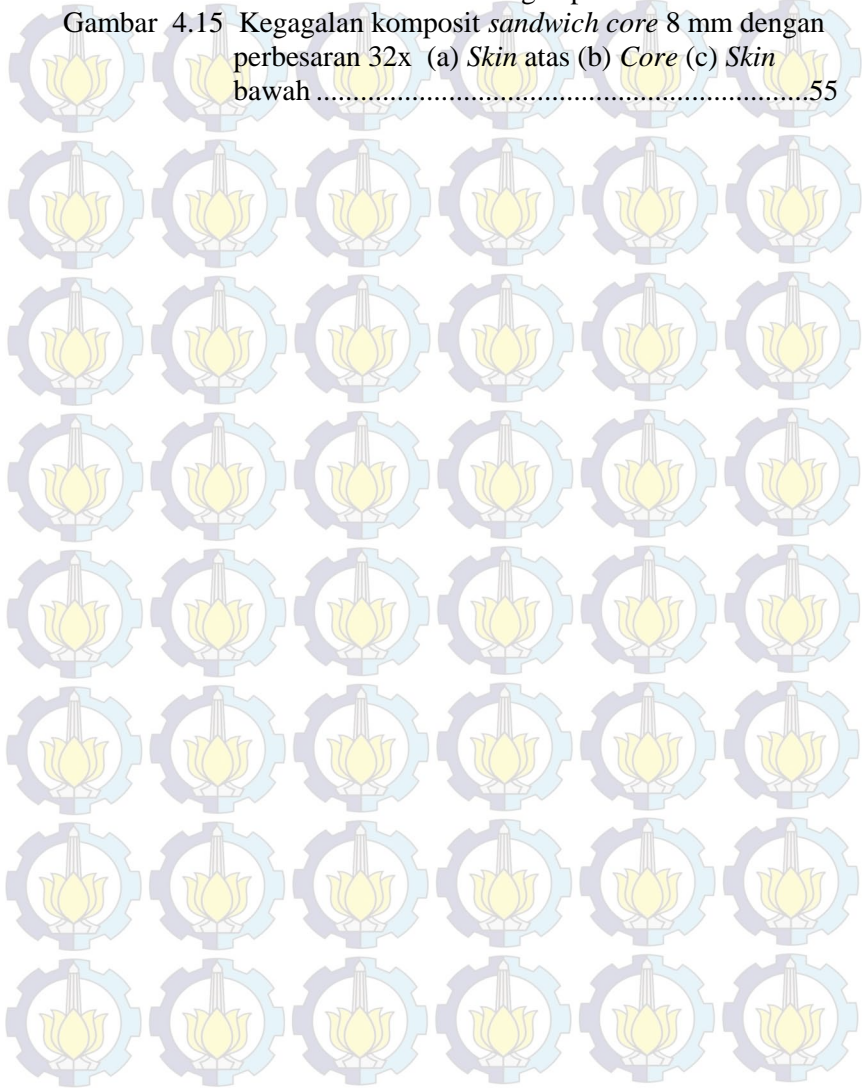
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Fase fase dalam komposit.....	6
Gambar 2.2	pembagian komposit berdasarkan penguatnya .....	7
Gambar 2.3	Ilustrasi komposit berdasarkan penguatnya .....	8
Gambar 2.4	Ikatan interdifussion .....	8
Gambar 2.5	Ikatan reaksi <i>Electrostatic</i> .....	9
Gambar 2.6	<i>Cationic-anionic bonding</i> .....	9
Gambar 2.7	<i>Chemical bonding</i> .....	9
Gambar 2.8	<i>Mechanical adhesion</i> .....	10
Gambar 2.9	Komposit <i>sandwich</i> .....	11
Gambar 2.10	Tipe serat pada komposit .....	15
Gambar 2.11	Tipe <i>discontinous fiber</i> .....	16
Gambar 2.12	Skema perbandingan kekuatan pada kurva tegangan geser dan normal intu bergai jenis material inti ...	18
Gambar 2.13	Proses <i>Hand lay up</i> .....	20
Gambar 2.14	Pengujian <i>Three point bending</i> panel komposit <i>sandwich</i> .....	23
Gambar 2.15	Penampakan dari beberapa metode kegagalan pada uji tarik komposit .....	25
Gambar 2.16	spesimen yang dikenai beban <i>bending</i> .....	26
Gambar 2.17	Aneka mode kegagalan uji <i>bending</i> komposit <i>sandwich</i> .....	27
Gambar 3.1	Flowchart Percobaan .....	29
Gambar 3.2	Mesin Uji Tarik- <i>Bending</i> Wolpert.....	30
Gambar 3.3	Alat cetakan komposit .....	30
Gambar 3.4	Mikroskop Stereo Zeiss STEMI DV4. ....	30
Gambar 3.5	Mesin potong <i>polyurethane</i> KRISBOW.....	31
Gambar 3.6	<i>Woven Roving</i> (WR 600).....	31
Gambar 3.7	<i>Polyurethane</i> .....	31
Gambar 3.8	Katalis MEKPO.....	32
Gambar 3.9	Persiapan cetakan komposit.....	33
Gambar 3.10	Hasil cetakan .....	34
Gambar 3.11	Spesimen Uji <i>Bending</i> .....	34

Gambar 3.12	Konfigurasi Lamina Spesimen <i>Bending</i> .....	34
Gambar 3.13	Spesimen uji tarik .....	35
Gambar 3.14	Skema pengujian <i>bending</i> komposit <i>sandwich</i> .....	36
Gambar 3.15	Bentuk dan dimensi uji <i>bending</i> komposit <i>sandwich C 393</i> .....	36
Gambar 3.16	Bentuk dan dimensi uji <i>bending</i> D790M.....	36
Gambar 4.1	Spesimen uji tarik .....	41
Gambar 4.2	Pengujian <i>Bending</i> .....	42
Gambar 4.3	Perbandingan tegangan <i>bending</i> komposit <i>sandwich</i> .....	42
Gambar 4.4	Perbandingan tegangan geser inti ( <i>core</i> ) terhadap tebal <i>core</i> komposit <i>sandwich</i> .....	44
Gambar 4.5	Perbandingan kekakuan terhadap tebal <i>core</i> komposit <i>sandwich</i> .....	45
Gambar 4.6	Perbandingan Defleksi terhadap tebal <i>core</i> komposit <i>sandwich</i> .....	46
Gambar 4.7	spesimen komposit <i>sandwich</i> sebelum dan sesudah diuji <i>bending</i> .....	47
Gambar 4.8	(a) spesimen 2mm sebelum dan sesudah pengujian <i>bending</i> (b) spesimen 5mm sebelum dan sesudah pengujian <i>bending</i> (c) spesimen 8mm sebelum dan sesudah pengujian <i>bending</i> .....	48
Gambar 4.9	Foto makro patahan spesimen <i>sandwich core</i> 2mm dengan perbesaran 12x .....	50
Gambar 4.10	Kegagalan komposit <i>sandwich core</i> 2mm dengan perbesaran 32x (a) <i>Skin</i> atas (b) <i>Core</i> (c) <i>Skin</i> bawah .....	51
Gambar 4.11	Foto makro patahan spesimen <i>sandwich core</i> 5mm .....	52
Gambar 4.12	Kegagalan komposit <i>sandwich core</i> 5 mm dengan perbesaran 32x (a) <i>Skin</i> atas (b) <i>Core</i> (c) <i>Skin</i> bawah .....	53
Gambar 4.13	Foto makro patahan spesimen <i>sandwich core</i> 8mm .....	54

Gambar 4.14 Delaminasi antara inti dan kulit pada komposit *sandwich core* 8mm dengan perbesaran 12x.....55

Gambar 4.15 Kegagalan komposit *sandwich core* 8 mm dengan perbesaran 32x (a) *Skin* atas (b) *Core* (c) *Skin* bawah .....55





## DAFTAR ISI

<b>Lembar Pengesahan</b> .....	v
<b>Abstrak</b> .....	vii
<b>Abstract</b> .....	ix
<b>Kata Pengantar</b> .....	xi
<b>Daftar Isi</b> .....	xiii
<b>Daftar Gambar</b> .....	xix
<b>Daftar Tabel</b> .....	xxiii

### **BAB1 PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah dan Asumsi .....	3
1.5 Metode Penelitian .....	4

### **BAB 2 DASAR TEORI**

2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Komposit .....	5
2.3 Jenis Ikatan .....	8
2.4 Komposit Sandwich .....	10
2.5 Kulit (skin) Dan Inti (core) Komposit Sandwich .....	11
2.5.1 Kulit Komposit Glass Fiber Reinforced Plastic .....	12
2.5.2 Core Polyurethane .....	17
2.6 Metode Hand lay up .....	19
2.7 Karakteristik Material Komposit .....	20
2.7.1 Karakteristik Campuran .....	21
2.8 Pengujian Spesimen .....	22
2.8.1 Pengujian Spesimen Dengan Three Point Bending .....	22
2.8.2 Pengujian tarik .....	24
2.9 Modus Kegagalan Komposit Sandwich .....	26



### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Diagram Alir Penelitian .....	29
3.2 Peralatan dan Benda Uji .....	30
3.2.1 Alat .....	28
3.2.2 Bahan Pembuatan Komposit .....	31
3.3 Pembentukan Komposit .....	32
3.3.1 Tahap Persiapan Cetakan Komposit Sandwich .....	32
3.4 Pelaksanaan Uji .....	35
3.4.1 Spesimen Uji tarik .....	35
3.4.2 Prosedur uji tarik .....	35
3.4.3 Spesimen Uji Bending .....	35
3.4.4 Prosedur uji Bending .....	37
3.5 Pengumpulan Data .....	37

### **BAB 4 DATA HASIL PENELITIAN**

4.1 Kekuatan tarik kulit (skin) .....	39
4.2 Hasil Pengujian Bending Komposit Sandwich .....	40
4.2.1 Pengaruh ketebalan inti polyurethane Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich .....	42
4.2.2 ketebalan inti polyurethane Terhadap Tegangan Geser Inti (Core) Komposit Sandwich .....	44
4.2.3 Kekakuan inti polyurethane Terhadap Tegangan Geser Inti (Core) Komposit Sandwich .....	45
4.3 Hasil Pengamatan Patahan Spesimen Komposit Sandwich Setelah Uji Bending .....	47
4.3.1 Hasil Pengamatan Patahan Spesimen dengan Tebal Inti (core) Polyurethane 2mm dan Kulit GFRP 4 Layer. ....	50
4.3.2 Hasil Pengamatan Patahan Spesimen dengan Tebal Inti (core) Polyurethane 5mm dan Kulit GFRP 4 Layer. ....	52
4.3.3 Hasil Pengamatan Patahan Spesimen dengan Tebal Inti (core) Polyurethane 8mm dan Kulit GFRP 4 Layer. ....	54

## **BAB 56 KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan ..... 57

5.2 Saran ..... 57

**DAFTAR PUSTAKA** ..... 59

**LAMPIRAN** ..... 61

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi resin <i>Unsaturated Polyester</i> .....	13
Tabel 2.2 Jenis serat <i>E-glass</i> .....	14
Tabel 2.3 properties dari serat <i>E-glass</i> .....	14
Tabel 2.4 properties <i>polyurethane</i> .....	19
Tabel 2.5 Tipe metode kegagalan uji tarik komposit .....	25
Tabel 3.1 Data Pengujian <i>Bending</i> .....	38
Tabel 4.1 Hasil Uji tarik kulit Komposit <i>Sandwich</i> .....	39
Tabel 4.2 Hasil Uji <i>Bending</i> Komposit <i>Sandwich</i> .....	41

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sejak dahulu kala manusia telah berusaha untuk menciptakan berbagai produk yang terdiri dari gabungan lebih dari satu bahan untuk menghasilkan suatu bahan yang lebih kuat, contohnya penggunaan jerami pendek untuk menguatkan batu bata di Mesir, panah orang Mongolia yang menggabungkan kayu, otot binatang, sutera, dan pedang samurai Jepang yang terdiri dari banyak lapisan oksida besi yang berat dan liat. Seiring dengan kemajuan zaman, untuk mengoptimalkan nilai efisiensi terhadap suatu produk maka dimulailah suatu pengembangan terhadap material.

Istilah komposit diartikan sebagai penggabungan dua material atau lebih secara "*makroskopis*". *Makroskopis* sendiri menunjukkan bahwa material pembentuk dalam komposit masih terlihat seperti aslinya, suatu hal yang berbeda dengan penggabungan dalam *alloy* (paduan) yang material pembentuknya sudah tidak terlihat lagi. Salah satu jenis material komposit yang digunakan pada industri transportasi adalah komposit *sandwich*. Pada prinsipnya komposit *sandwich* terdiri dari dua kulit (*skin*) permukaan dengan material inti (*core*) yang berada di antaranya. Dengan menggunakan material inti yang sangat ringan, maka akan dihasilkan komposit yang mempunyai sifat kuat, ringan, dan kaku. Komposit *sandwich* dapat diaplikasikan sebagai struktural maupun non-struktural bagian internal dan eksternal pada kereta, bus, truk, dan jenis kendaraan yang lainnya.

Dalam proses manufaktur komposit banyak metode yang dapat dipergunakan seperti *hand lay up*, *vacuum assisted resin infusion* (VARI), dan *prepag*. Dalam penelitian ini digunakan metode *hand lay up* dikarenakan prosesnya sederhana dan tidak membutuhkan banyak peralatan pendukung. Oleh karena itu dalam tugas akhir ini akan dibahas mengenai karakteristik sifat



mekanik dari komposit *sandwich* dan bentuk kerusakan yang terjadi akibat *bending*.

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian tentang rekayasa komposit *sandwich* serat E-glass dengan *core polyurethane* merupakan hal yang sangat menarik untuk dikaji lebih lanjut. Penggunaan *polyurethane* sangat baik dalam proses peredaman getaran ataupun pada penyerapan energi. Penelitian ini dapat mereduksi impor logam jadi dan meningkatkan usaha pengembangan komposit di Indonesia.

### 1.2 Perumusan Masalah

Pada permasalahan ini yang menjadi permasalahan pokok adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi ketebalan *core polyurethane* terhadap karakteristik *bending* komposit *sandwich* dalam fraksi tetap?
2. Bagaimana pengaruh variasi tebal *core* pada komposit *sandwich* terhadap bentuk/model kerusakan yang terjadi akibat beban *bending*?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisa pengaruh variasi ketebalan *core polyurethane* terhadap karakteristik *bending* komposit *sandwich* dalam fraksi tetap.
2. Menganalisa pengaruh variasi tebal *core* pada komposit *sandwich* terhadap bentuk/model kerusakan yang terjadi akibat beban *bending*.

### 1.4 Batasan Masalah dan Asumsi

Agar penelitian dan pembahasan masalah ini tidak terlalu meluas, maka perlu diberikan batasan masalah dan asumsi, yaitu :

1. Distribusi serat didalam matrik pada tiap lapisan dianggap sama.

2. Komposisi antara penguat dengan matrik disetiap lapisan kulit dianggap sama.
3. Suhu ruangan pada proses pembuatan dan pengujian dianggap konstan  $\pm 32^{\circ}\text{C}$ .
4. Spesimen yang dihasilkan dari proses pencetakan memiliki dimensi yang sama.
5. *Core* memiliki ketebalan yang sama.

### **1.5 Metode Penelitian**

Penulisan disusun dalam enam bab yaitu pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian, data hasil penelitian, analisa data dan diskusi, serta kesimpulan dan saran. Adapun perinciannya adalah sebagai berikut :

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Pada bab pendahuluan dijelaskan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, pembatasan masalah serta tujuan penelitian.

#### **BAB 2 DASAR TEORI**

Pada bab dasar teori menjelaskan teori-teori dasar mengenai komposit *sandwich*, mekanika struktur komposit, inti (*core*) *polyurethane*, konsep metode produksi *hand lay up* serta konsep pengujian *bending*.

#### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab metodologi penelitian dijelaskan tentang data spesimen yang digunakan, metode pengujian yang digunakan, diagram alir , metode manufaktur, metode pengumpulan data dan segala bentuk prosedur yang diperlukan untuk penelitian ini .

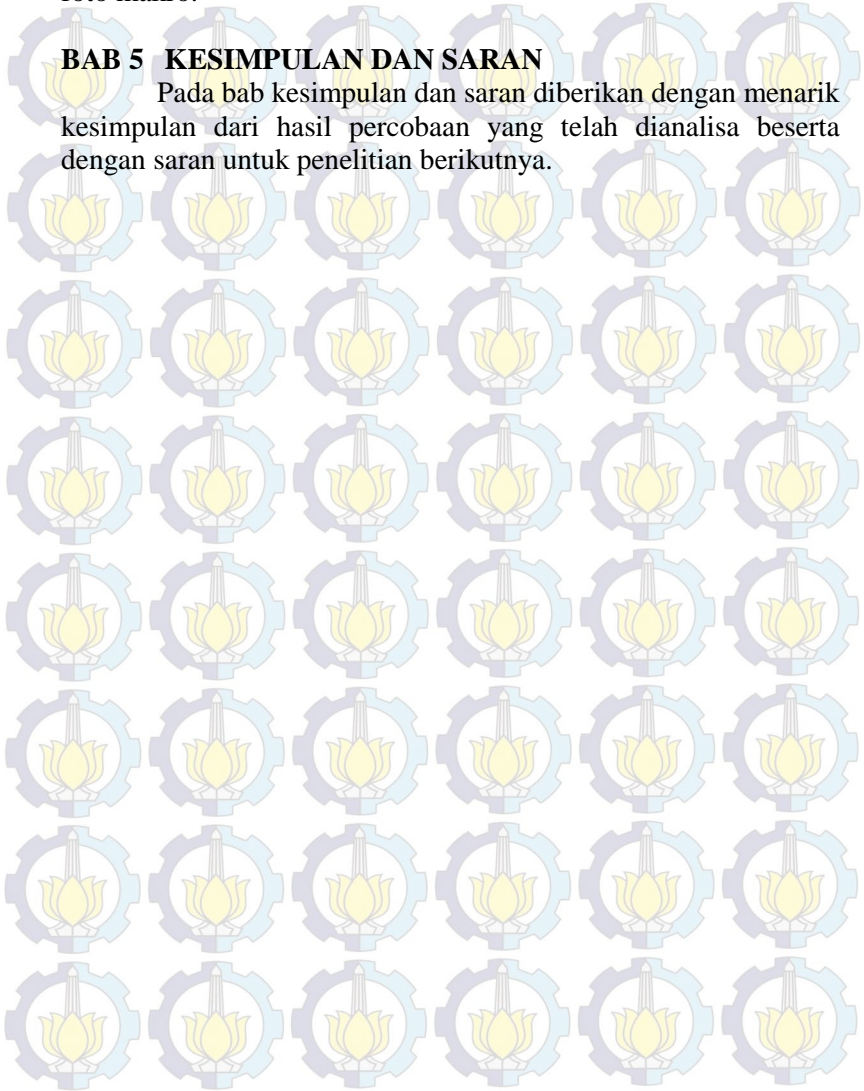
#### **BAB 4 DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini menampilkan pengolahan data dari hasil pengujian yang telah dilakukan dan analisa data serta diskusi yang menampilkan pembahasan dari data yang didapatkan saat

pengujian. Analisa kegagalan akan diamati dengan menggunakan foto makro.

## **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab kesimpulan dan saran diberikan dengan menarik kesimpulan dari hasil percobaan yang telah dianalisa beserta dengan saran untuk penelitian berikutnya.





## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

I Made Astika [1] melakukan penelitian mengenai kekuatan tarik komposit serat kaca dengan matriks polyester. Serat kaca yang digunakan berbentuk CSM (*Chopped Strand Mat*) dan WR (*Woven Roving*). Variabel yang divariasikan adalah fraksi volume serat dalam komposit. Perbandingan antara matriks dengan serat adalah 60:40, 68:32, 76:24. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan semakin besar fraksi volume serat dalam komposit maka kekuatan tariknya akan semakin meningkat, selain itu komposit dengan serat kaca berbentuk WR menunjukkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang menggunakan serat kaca berbentuk CSM.

Veindra habrian [4] melakukan percobaan dengan komposit *sandwich core* spon dan didapat hasil Kekuatan *bending* komposit *sandwich* dengan *core* spon semakin menurun seiring dengan penambahan tebal *core* spon. Pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 2 mm dan Kekakuan *bending* komposit *sandwich* dengan *core* spon semakin naik seiring dengan penambahan tebal *core* spon. Pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 9 mm.

Istanto, dkk [3] Berdasarkan analisis hasil uji *bending* komposit GFRP (*skin*) dengan variasi orientasi serat, kekuatan *bending* tertinggi terdapat pada *skin* dengan orientasi serat  $[(0/90)_4]$  sebesar 266,62 MPa. Hal ini disebabkan oleh faktor orientasi serat yang searah beban. momen maksimum dan kekuatan *bending skin* dengan orientasi serat  $[(0/90)_4]$  memiliki harga yang paling tinggi.

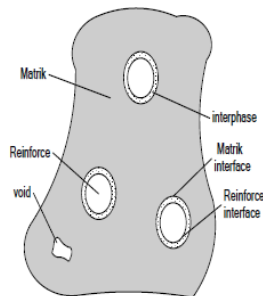
### 2.2 Komposit

Komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang terdiri atas dua atau lebih material penyusun yang sifatnya



berbeda, dimana satu material adalah berfungsi sebagai fase pengisi (matriks) sedangkan material lainnya sebagai fase penguat (*reinforce*). Dengan penggabungan material tersebut, maka akan didapatkan suatu material yang sifatnya lebih baik dari material penyusunnya, yang merupakan gabungan dari matriksnya dengan penguatnya. Pada komposit dapat terbentuk *interphase* yaitu suatu fase di antara fase matriks dan penguat yang timbul akibat reaksi kimia dan efek dari proses produksi yang dilakukan.

Dengan semakin berkembangnya teknologi komposit, maka memungkinkan komposit dapat didesain sedemikian rupa sesuai dengan karakteristik material yang diinginkan sehingga dapat dibuat menjadi lebih kuat, ringan, kaku, dan lebih tahan panas. Dengan beberapa kelebihan tersebut, menyebabkan komposit banyak diaplikasikan dalam peralatan-peralatan berteknologi tinggi di bidang industri, transportasi, dan konstruksi bangunan.



Gambar 2.1 Fase fase dalam komposit[1]

Dalam teknologi komposit, matriks dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai pengisi dan pengikat yang mendukung, melindungi, dan dapat mendistribusikan beban dengan baik ke material penguat komposit. Berdasarkan jenis matriksnya, maka komposit dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. PMC (*Polymer Matrix Composite*)

Merupakan komposit yang menggunakan material polimer sebagai matriksnya. Contohnya adalah: GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) dan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*).

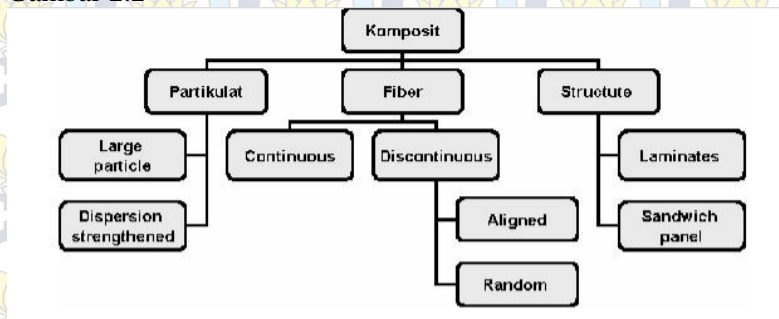
2. CMC (*Ceramic Reinforced Composite*)

Adalah komposit yang menggunakan material keramik sebagai fase pengisinya (matriks). Contohnya adalah: Boron reinforced SiC.

3. MMC (*Metal Matrix Composite*)

Merupakan komposit yang menggunakan material logam sebagai matriks. Contohnya adalah: Carbon reinforced aluminium.

Penguat (*reinforce*) dalam teknologi komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai penguat yang memiliki sifat lebih kuat dari fase matriks dan merupakan suatu konstruksi/rangka tempat melekatnya matriks. Adapun pembagian komposit berdasarkan penguatnya dapat dilihat dari Gambar 2.2

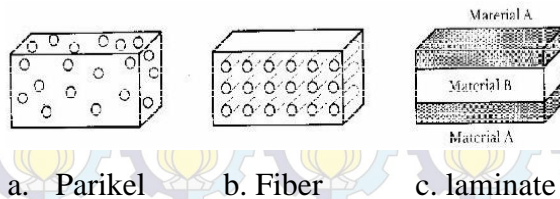


Gambar 2.2 pembagian komposit berdasarkan penguatnya [9]

Pada Gambar 2.2 komposit berdasarkan jenis penguatnya dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *Particulate composite*, penguatnya berbentuk partikel
2. *Fibre composite*, penguatnya berbentuk serat
3. *Structural composite*, cara penggabungan material komposit

Adapun ilustrasi dari komposit berdasarkan penguatnya dapat dilihat pada Gambar 2.3

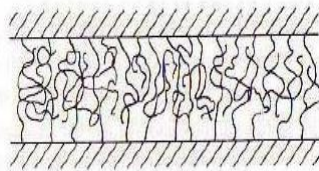


Gambar 2.3 Ilustrasi komposit berdasarkan penguatnya[9]

## 2.3 Jenis Ikatan

### 1. *Interdiffusion*

Disebabkan ikatan yang bebas antara 2 permukaan yang membentuk belitan-belitan rantai sehingga dapat meningkatkan kekuatan adhesinya.

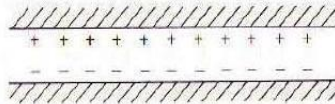


Gambar 2.4 Ikatan interdiffussion

## 2. Reaksi *Electrostatic*

Disebabkan daya tarik permukaan antara 2 permukaan, 1 permukaan membawa ion positif (+) dan 1 permukaan lain membawa ion negative (-). Biasanya terjadi pada kasus asam basa.

contoh : ikatan antara  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  yang membentuk  $\text{NaCl}$

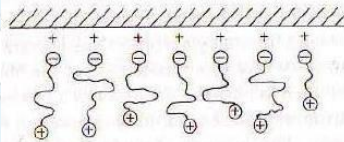


Gambar 2.5 Ikatan reaksi *Electrostatic* [11]

## 3. *Cationic-anionic*

Dimana disebabkan oleh permukaan yang mempunyai anion dan kation properties.

Contoh : pada besi yang mengalami korosi, terdapat elektroda negative dan positif.

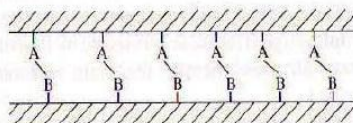


Gambar 2.6 Ikatan *Cationic-anionic bonding* [11]

## 4. *Chemical bonding*

Jenis ikatan permukaan antara 2 permukaan yang didukung oleh kompatibilitas dari *coupling agent*.

Contoh : ikatan antara resin dengan katalis.



Gambar 2.7 *Chemical bonding* . [11]

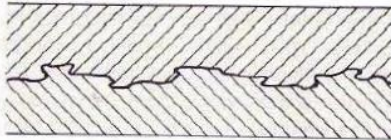
## 5. *Mechanical adhesion*

Ikatan yang terjadi semata-mata disebabkan oleh mechanical interlocking dari 2 permukaan, dimana salah satu permukaan



mempunyai kontur permukaan sehingga memungkinkan terjadinya suatu ikatan.

Contoh : ikatan antara resin dengan permukaan logam yang telah mengalami surface treatment, sehingga resin dapat masuk dan membasahi setiap detail dari permukaan fiber tersebut.

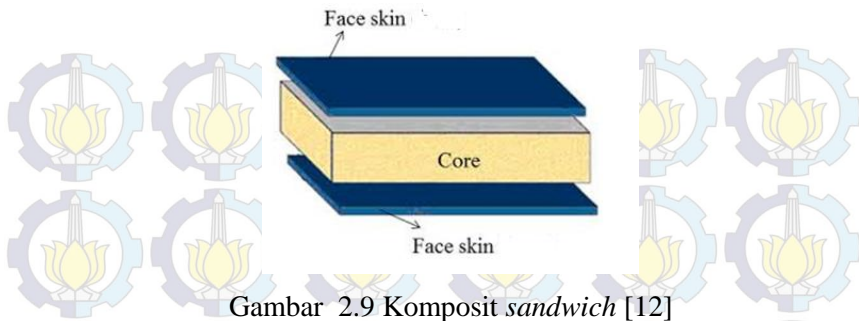


Gambar 2.8 *Mechanical adhesion* . [11]

## 2.4 Komposit *Sandwich*

Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan yang terdiri dari *flat composite* dan atau *metal sheet* sebagai *skin* serta *core* di bagian tengahnya. Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Sehingga untuk mendapatkan karakteristik tersebut, pada bagian tengah diantara kedua *skin* dipasang *core*.

Komposit *sandwich* merupakan jenis komposit yang sangat cocok untuk menahan beban lentur, impak, meredam getaran dan suara. Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang ringan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Biasanya pemilihan bahan untuk komposit *sandwich*, syaratnya adalah ringan, tahan panas dan korosi, serta harga juga dipertimbangkan.



Gambar 2.9 Komposit *sandwich* [12]

## 2.5 Kulit (*skin*) Dan Inti (*core*) Komposit *Sandwich*

Permukaan kulit menerima tensile dan tekanan kompresi dalam struktur *sandwich*. Kekakuan dan kelenturan lokal yang nilainya kecil dapat diabaikan. Material yang konvensional seperti besi, stainless steel dan aluminium biasanya digunakan sebagai material permukaan. Secara umum *fiber dan glass reinforced plastic* cocok untuk digunakan sebagai bahan permukaan. Material ini sangat mudah diaplikasikan. *Reinforced plastic* dapat dikhususkan untuk memenuhi kebutuhan seperti *anisotropic mechanical properties*, desain yang sulit dan hasil akhir permukaan yang sangat bagus dan lain sebagainya. Permukaan juga menerima *local pressure*, ketika *local pressure* ini besar pada permukaan maka akan menjadi gaya geser yang terhubung pada lapisan-lapisan kulit.[15]

Fungsi dari inti (*core*) adalah untuk mendukung kulit agar tidak melengkung (deformasi) kedalam ataupun keluar dan untuk menjaga posisi lapisan kulit pada tempatnya dan relatif terhadap satu sama lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut, *core* harus memiliki karakteristik yang penting yaitu harus cukup kaku untuk menjaga jarak antara dua permukaan konstan dan harus sukar tergeser pada permukaan agar tidak terjadi slip antara satu dengan yang lainnya. Kekakuan gaya geser pada permukaan memaksa lapisan yang ada untuk bekerja sama satu dengan yang lainnya. Bila *core* tidak kuat terhadap gaya geser maka permukaan tidak

mau bekerja sama dan struktur *sandwich* akan kehilangan kekakuannya. Inilah kelebihan dari struktur *sandwich*. *Core* harus memenuhi kebutuhan yang sangat kompleks antara lain: mempunyai kekuatan dalam arah yang berbeda dan indentasi yang rendah. Sering kali ada kekhususan seperti untuk *buckling*, *insulasi*, penyerapan inersia, dan ketahanan *agging*. *Core* dapat dibuat dari berbagai bahan, seperti kayu, aluminium, dan berbagai busa.[15]

### **2.5.1 Skin Komposit Glass Fiber Reinforced Plastic (GFRP)**

GFRP merupakan jenis komposit penguat serat yang banyak digunakan dan mudah untuk diterapkan. Beberapa keunggulan komposit GFRP menurut Schawrtz (1984) antara lain untuk kestabilan dimensinya, tahan terhadap bahan kimia, isolator listrik yang baik, mampu dibentuk dengan baik, cocok untuk produksi massal dengan berbagai proses produksi, dan rasio kekakuan dan berat yang cukup tinggi.

Komposit GFRP biasa digunakan sebagai *skin* (lapisan permukaan) pada struktur *sandwich*. Dengan menggunakan beberapa lapis serat *glass* dan variasi jenis resin yang berbeda, *skin* GFRP akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda pula. Oleh sebab itu paduan antara jumlah lapisan serat *glass*, bentuk serat *glass*, *density* serat *glass*, dan jenis resin yang digunakan akan berpengaruh pada kekuatan mekanis *skin* yang dibuat. Bahan pembentuk komposit GFRP antara lain :

#### **2.5.1.1 Resin Unsaturated Polyester**

Unsaturated Polyester merupakan jenis thermoset. Kebanyakan orang menyebutnya dengan polyester. Resin ini mempunyai viskositas yang relatif rendah, dan mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis

Sifat resin ini adalah kaku dan rapuh. Mempunyai suhu deformasi thermal yang lebih rendah dibandingkan dengan resin thermoset lainnya dan mampu menahan panas kira-kira 110-1400C dalam waktu yang cukup lama. Mempunyai sifat ketahanan listrik yang baik. Mampu menahan asam dengan cukup baik, namun lemah



terhadap alkali. Secara luas digunakan dalam dunia material sebagai bahan komposit.

Penggunaan resin jenis ini dapat dilakukan dari mulai proses yang paling sederhana yaitu proses hand lay-up hingga dengan metode manufaktur yang kompleks. Resin ini banyak digunakan dalam aplikasi komposit dalam dunia industri karena beberapa keunggulannya, yaitu harganya yang relatif murah, waktu *curing* yang cepat, warna jernih, kestabilan dimensional dan mudah penanganannya.

Jenis resin polyester yang banyak digunakan dalam dunia industri adalah jenis BQTN 157, contoh aplikasinya adalah pada bagian-bagian bodi dari kendaraan bermotor, terutama pada mobil. Spesifikasi dari resin BQTN 157 dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi resin *Unsaturated Polyester* Yukalac BQTN 157 [6]

Jenis	Satuan	Nilai
Berat Jenis	Gr/cm <sup>3</sup>	1,3
Tegangan Tarik	MPa	60
Modulus Tarik	GPa	2,8
Regangan	%	2

### 2.5.1.2 Material Penguat (*Reinforcement*)

Penguat (*reinforce*) dalam teknologi komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai penguat yang memiliki sifat lebih kuat dari fase matriks dan merupakan suatu konstruksi/rangka tempat melekatnya matriks.

Material penguat merupakan salah satu penyusun utama material komposit. Material ini secara umum berbentuk serat baik serat panjang (*continuous fibre*) dan serat pendek (*discontinuous fibre*). Mayoritas fraksi volume dari material komposit terdiri dari material penguat ini agar beban yang dikenakan mampu didistribusikan dengan baik ke material penguat. Pemilihan jenis



serat, fraksi volume serat, panjang serat, dan arah serat akan mempengaruhi karakteristik material komposit berikut: berat jenis, kekuatan tarik dan modulus elastisitas, kekuatan tekan dan modulus, kekuatan *fatigue* serta mekanisme kegagalannya, konduktivitas panas dan listrik, serta biaya produksi.

Untuk proses pembuatan material komposit, serat penguat yang sering dipergunakan adalah serat gelas (*fiberglass*). Keuntungan yang ditawarkan oleh serat gelas adalah biaya produksi yang rendah, kekuatan tarik yang tinggi, ketahanan terhadap serangan zat kimia yang baik, sifat insulator yang baik. Serat dapat juga berupa serat *organic* yang berasal dari alam dan serat sintetik yang sengaja dibuat dari berbagai senyawa kimia. Serat kaca yang digunakan merupakan serat sintetik yang dibuat dari bahan dasar silikon oksida ( $\text{SiO}_2$ ). Beberapa serat gelas yang digunakan pada proses produksi material komposit dapat dilihat dari tabel berikut:

Tabel 2.2 Jenis serat *E-glass*

No	Jenis serat		
	<i>E-glass</i>	<i>C-glass</i>	<i>S-glass</i>
1	Isolator listrik yang baik	Tahan terhadap korosi	Modulus lebih tinggi
2	Kekakuan tinggi	Kekuatan lebih rendah dari <i>E-glass</i>	Lebih tahan terhadap suhu tinggi
3	Kekuatan tinggi	Harga lebih mahal dari <i>E-glass</i>	Harga lebih mahal

Tabel 2.3 properties dari serat *E-glass* [4]

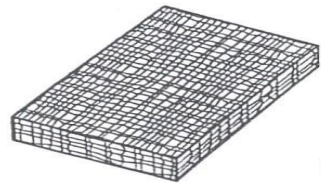
<i>Properties</i>	<i>Unit</i>	<i>Temperature (23 °C)</i>
<i>Tensile Strength</i>	Mpa	3,445
<i>Young's Modulus</i>	Mpa	72,3

<i>Strain to Failure</i>	%	4,8
--------------------------	---	-----

Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe serat pada komposit, yaitu:



(a) *Continuous Fiber Composite*



(b) *Woven Fiber*



(c) *Discontinuous Fiber Composite*



(d) *Hybrid fiber composite*

Gambar 2.10 Tipe serat pada komposit (Gibson, 1994 ) [9]

a) *Continuous Fiber Composite*

*Continuous* atau *uni-directional*, mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Kekurangan tipe ini adalah lemahnya kekuatan antar antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.

b) *Woven Fiber Composite (bi-directional)*

Komposit ini tidak mudah terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus

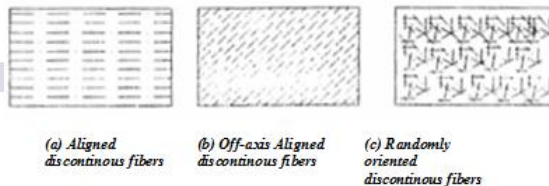
mengakibatkan kekuatan dan kekakuan tidak sebaik tipe *continuous fiber*.

c) *Discontinuous Fiber Composite (chopped fiber composite)*

Komposit dengan tipe serat pendek masih dibedakan lagi menjadi.

1. *Aligned discontinuous fiber*
2. *Off-axis aligned discontinuous fiber*
3. *Randomly oriented discontinuous fiber*

*Randomly oriented discontinuous fiber* merupakan komposit dengan serat pendek yang tersebar secara acak diantara matriksnya. Tipe acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya yang lebih murah. Kekurangan dari jenis serat acak adalah sifat mekanik yang masih dibawah dari penguatan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama



Gambar 2.11 Tipe *discontinuous fiber* [9]

d) *Hybrid fiber composite*

*Hybrid fiber composite* merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Pertimbangannya supaya dapat mengeliminir kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihanannya.

### 2.5.1.3 Aditif

Penggunaan polimer dalam komposit memerlukan material lain yang mempunyai fungsi khusus yang disebut



aditif. Material tambahan tersebut dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. *Catalyst, stabilizer, coupling agent* merupakan senyawa kimia yang digunakan untuk mempercepat, menstabilkan, dan membantu perekatan polimer dengan fasa penguat komposit.
2. *Pigments* digunakan untuk memberi tekstur dan warna pada polimer.
3. *Release agents* dan *lubricants* merupakan material yang ditambahkan untuk mempermudah dalam melepaskan komposit dari cetakannya dalam proses produksi komposit.

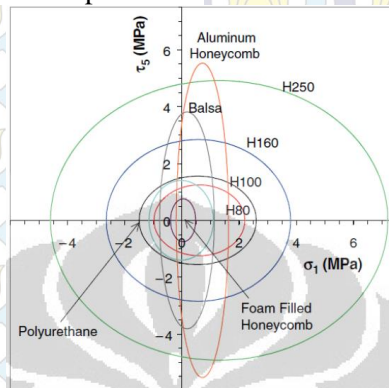
#### **2.5.1.4 Core Polyurethane**

*Polyurethane* adalah sebuah bahan atau material yang terdapat urethane grup ( $\text{-NH-CO-O-}$ ) didalamnya, di mana merupakan hasil reaksi dari campuran dua komponen bahan kimia komponen A (*POLYOL*) dan Komponen B (*ISOCYANATE*) yang diaduk (*mixing*) secara bersama-sama, sehingga terjadi reaksi kimia (*Curing*) dan membentuk foam. *Polyurethane* Terdapat dalam berbagai bentuk, seperti busa lentur, busa keras, pelapis anti bahan kimia, bahan perekat, dan penyekat, serta elastomers. Busa keras *polyurethane* digunakan sebagai bahan penyekat pada gedung, pemanas air, alat transport berpendingin, serta pendingin untuk industri maupun rumah tangga. Busa ini juga digunakan untuk flotation dan pengaturan energi. Busa lentur *polyurethane* digunakan sebagai bahan pelembut pada karpet dan kain pelapis furniture, kasur, dan mobil. Busa tersebut juga digunakan sebagai pengepak barang. Perekat dan penyekat *polyurethane* digunakan dalam seperti di bidang konstruksi, transportasi, kapal, dan kegunaan lain yang membutuhkan kekuatan, tahan lembab, serta sifat tahan lama dari *polyurethane* tersebut. *Mechanical properties* dari *polyurethane* dapat dilihat dari tabel 2.5

Menurut eksperimen yang dilakukan Levente danes dkk tahun 2008, memperoleh hasil bahwa material inti berupa



*polyurethane foam* dapat meningkatkan kekakuan dan *rigiditas* dari panel serta struktur yang lebih baik dan terintegritas secara merata, ketahanan yang lebih baik dan kekuatan material inti yang lebih tinggi [13]. *Core polyurethane* merupakan Jenis paling ekonomis dibanding foam *core* yang lain. Lebih mudah diproduksi secara massal dengan range density 3-50 lb/ft<sup>3</sup>. Sifatnya yang thermoplastic foam sehingga bisa digunakan untuk aplikasi pada suhu sampai 135°C



Gambar 2.12 Skema perbandingan kekuatan pada kurva tegangan geser dan normal intu bergai jenis material inti[13]

Dari gambar 2.12 diperlihatkan bahwa material inti jenis *polyurethane* memiliki batas tegangan geser yang lebih baik daripada honeycomb. Material *polyurethane* secara fisik memiliki rongga lebih rapat dibandingkan honeycomb, semakin banyak rongga tengangan geser saat pengujian dapat dengan mudah mempengaruhi material.

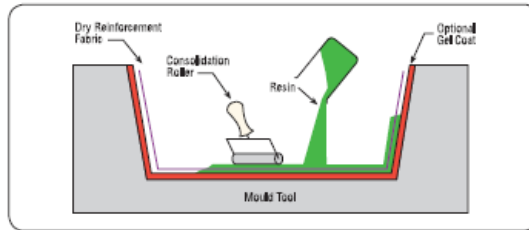
Tabel 2.4 properties *polyurethane* [10]

Mechanical Properties	
Elastic Modulus (MPa)	69 - 690
	69 - 690
Flexural Modulus (MPa)	69 - 690
Tensile Strength (MPa)	1 - 69
Compressive Strength (MPa) at yield or break	138
Flexural Strength (MPa) at yield or break	5 - 31
Elongation at break (%)	100 - 1000
Hardness	10 - 13
	90
Izod Impact (J/cm of notch) 1/8" thick specimen unless noted	13.3 - 0

## 2.5 Metode *Hand lay up*

Proses manufaktur bahan komposit dengan metode *hand lay up* merupakan metode yang paling sederhana diantara metode-manipulasi manufaktur bahan komposit yang lain. Dikatakan sederhana karena tekniknya sangat mudah di aplikasikan yaitu cairan resin dioleskan diatas sebuah cetakan dan kemudian serat layer pertama diletakkan diatasnya, kemudian dengan menggunakan roller / kuas resin kembali diratakan. Langkah ini dilakukan terus menerus hingga didapatkan ketebalan spesimen yang diinginkan.

Metode *hand lay up* biasanya memiliki waktu *curing* pada suhu kamar dan akan mengering hingga satu hari tergantung jumlah resin dan jenis resin serta katalis yang diberikan. Waktu *curing* bisa dipersingkat dengan menyemburkan udara panas. Pemberian tekanan dengan roller atau kuas bertujuan untuk mengurangi *void* / gelembung udara yang terperangkap dalam laminat komposit. Secara umum metode *hand lay up* digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.13 Proses *Hand lay up* [9]

Metode *hand lay up* banyak diaplikasikan untuk pembuatan komposit yang sederhana. Keuntungan metode *hand lay up* antara lain :

1. Biaya murah
2. Prosesnya sederhana
3. Cetakan dapat digunakan berulang kali

Disamping itu metode *hand lay up* juga memiliki kekurangan antara lain :

1. Biasanya dipakai untuk *proto tipe* dengan skala besar
2. Karena proses *curing* terbuka maka (pada temperature kamar) maka bau yang ditimbulkan perlu dipikirkan.
3. Kualitas produk antar komponen tidak konsisten
4. Prosesnya kurang bersih.

## 2.6 Karakteristik Material Komposit

Untuk memproduksi material komposit perlu memperhitungkan volume fraksi atau berat fraksi masing-masing penyusunnya untuk mendapatkan sifat mekanik yang diperlukan. Perhitungan yang diperlukan dijabarkan di bawah ini:

$$\text{Fraksi volume total : } V_f + V_m = 1 \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{Fraksi volume matriks : } V_m = V_m / V_c \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Fraksi volume serat : } V_f = V_f / V_c \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{Fraksi berat total : } W_f + W_m = 1 \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Fraksi berat matriks : } W_m = W_m / W_c \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\text{Fraksi berat serat : } W_f = W_f / W_c \dots\dots\dots (2.6)$$

Dari persamaan diatas, didapatkan:

$$V_c = V_m + V_f \dots\dots\dots (2.7)$$

$$W_c = W_m + W_f \dots\dots\dots (2.8)$$

Kerapatan komposit dapat dihitung berdasarkan persamaan di bawah:

$$P_c = V_f \rho_f + V_m \rho_m \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana:

m = matriks

f = serat

c = komposit

V = Volume fraksi

W = berat fraksi (kg)

V = volume (m<sup>3</sup>)

## 2.7 Karakteristik Campuran

Umumnya perhitungan komposit berdasarkan atas fraksi volume, namun dalam proses produksinya, perhitungannya berdasarkan fraksi berat. Hal ini karena dengan menggunakan fraksi berat lebih memudahkan pengerjaannya. Berikut adalah konversi dari fraksi volume terhadap fraksi berat dan sebaliknya:

$$V_f = \frac{\frac{W_f}{\rho_f}}{\frac{W_f}{\rho_f} + \frac{W_m}{\rho_m}} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$W_f = \frac{V_f \cdot \rho_f}{(V_f \cdot \rho_f) + (V_m \cdot \rho_m)} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

Vf = fraksi volume fiber

Vm = fraksi volume matriks

Wf = fraksi berat fiber

Wm = fraksi berat matriks



## 2.8 Pengujian Spesimen

### 2.8.1 Pengujian Spesimen Dengan *Three Point Bending*

Merupakan pengujian yang dilakukan terhadap suatu material untuk mengetahui karakteristik mekanik dari material tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan cara batang spesimen disangga di kedua sisi dan di berikan beban diantara 2 penyangga tersebut sampai spesimen tersebut rusak / patah. Idealnya spesimen uji akan mengalami kegagalan retak (*fracture*) akibat beban geser (*shear*). Pada bagian atas spesimen mengalami beban tekan dan pada bagian bawah spesimen mengalami beban Tarik. Pengujian berdasarkan stándar ASTM C 393 dan ASTM D 790M

#### 2.8.1.1 Pengujian berdasarkan stándar ASTM D 790M.

Pada pengujian *bending* dengan metode *three point bending* digunakan persamaan yang sesuai dengan ASTM D790M, yaitu :

$$S = \frac{3.P.L}{2.b.h^2} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

- S = Tegangan *bending* (MPa)
- P = Beban (N)
- L = Panjang bentang tumpuan (mm)
- b = Lebar (mm)
- h = Tebal (mm)

sedangkan untuk mencari modulus elastisitas *bending* dapat digunakan persamaan

$$\delta_{maks} = \frac{P.L^3}{48.E.I} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$I = \frac{b.h^3}{12} \dots\dots\dots(2.14)$$

Sehingga,

$$E = \frac{P.L^3}{48.I.\delta_{maks}} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

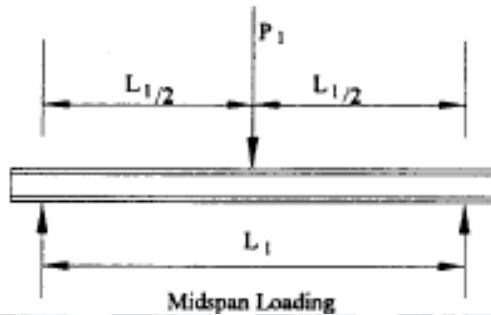
- E = Modulus elastisitas banding (MPa)
- L = Panjang bentang tumpuan (mm)

$\delta_{\text{maks}}$  = Defleksi maksimum (mm)

$h$  = Tebal (mm)

$b$  = lebar (mm)

### 2.8.1.2 Pengujian berdasarkan stándar ASTM C 393



Gambar 2.14 Pengujian *Three point bending* panel komposit sandwich[5]

Pada panel komposit *sandwich* yang dikenai uji *three point bending* seperti pada gambar 2.15, besarnya tegangan geser pada *core* (*core shear stress*) dapat dihitung dengan persamaan (ASTM C 393):

$$\tau = \frac{P}{(d+c)b} \dots \dots \dots (2.16)$$

Besarnya tegangan *bending* maksimum pada bagian permukaan (*facing bending stress*) dapat dihitung dengan persamaan;

$$\sigma = \frac{PL}{2t(d+c)b} \dots \dots \dots (2.17)$$

Kekakuan *bending* komposit *sandwich* dengan permukaan yang sama menurut ASTM C 393, adalah :

$$D = \frac{E(d^3 - c^3)b}{12} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana:

$I$  = Momen Inersia ( $\text{N/mm}^2$ )

$M$  = Momen (Nmm)

$y$  = Setengah tebal spesimen (mm)

$\tau$	= Tegangan geser <i>core</i> (Mpa)
$\sigma$	= Kekuatan <i>bending</i> permukaan <i>sandwich</i> (Mpa)
P	= Load pada <i>midspan</i> (N)
L	= panjang <i>span</i> (mm)
t	= Tebal <i>skin</i> (mm)
d	= Tebal <i>sandwich</i> (mm)
c	= Tebal <i>core</i> (mm)
b	= Lebar <i>sandwich</i> (mm)
E	= modulus elastisitas/ <i>skin</i> (Mpa)
D	= Kekakuan <i>bending sandwich</i> (Nmm <sup>2</sup> )

### 2.8.2 Pengujian tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mencari tegangan dan regangan dari material komposit. Dari pengujian ini dapat diketahui beberapa sifat mekanik material yang dibutuhkan dalam melakukan desain. Didapatkan hasil dari pengujian berupa grafik beban dalam skala perpanjangan. Dari grafik tersebut maka tegangan dari material komposit dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

$\sigma$	= Tensile strength (Pa)
P	= Beban terbesar sebelum gagal (N)
A	= Luas penampang melintang rata-rata (m2)

Selanjutnya dapat pula diperoleh regangan yang terjadi pada material komposit selama pengujian dengan menggunakan persamaan berikut :

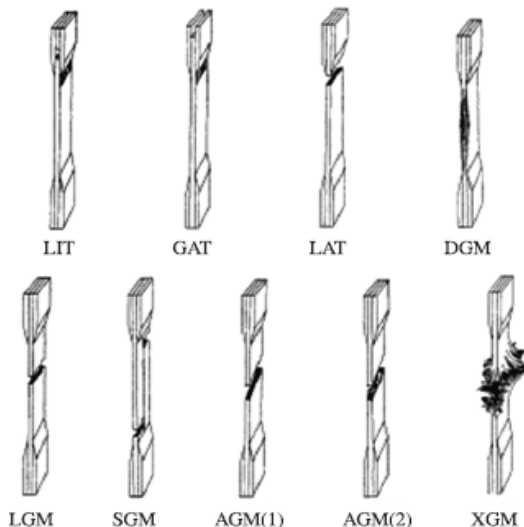
$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

$\varepsilon$	= Strain strength
$l_0$	= Panjang awal spesimen (mm)
$l_i$	= Panjang akhir spesimen (mm)

Pada pengujian tarik untuk komposit terdapat berbagai kemungkinan gagal yang terjadi, hal tersebut dapat disebabkan

oleh komponen penyusunnya serta metode manufaktur yang digunakan dalam proses pembuatan komposit tersebut. Jenis pola patahan dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.15 Penampakan dari beberapa metode kegagalan pada uji tarik komposit[15]

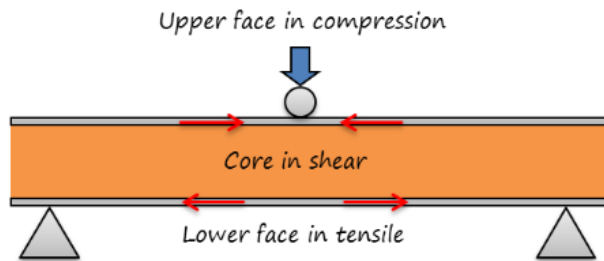
Tabel 2.5 Tipe metode kegagalan uji tarik komposit

Failure Type	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Angled	A	Inside grip/tab	I	Bottom	B
Edge Delamination	D	At grip/tab	A	Top	T
Grip/tab	G	<1 W from grip/tab	W	Left	L
Lateral	L	Gage	G	Right	R
Multi-mode	M (xyz)	Multiple Areas	M	Middle	M
Long Splitting	S	Various	V	Various	V
explosive	X	Unknown	U	Unknown	U
Other	O	-	-	-	-



## 2.8 Modus Kegagalan Komposit Sandwich

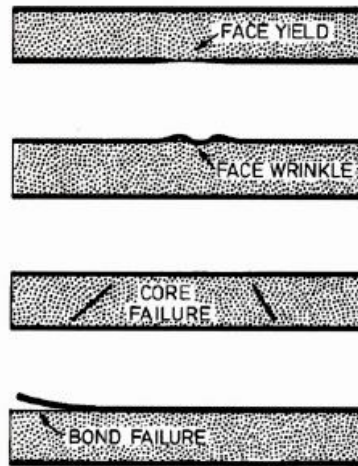
Pada spesimen *bending* gambar 2.16, umumnya kerusakan yang terjadi akibat adanya gaya tekan dan gaya tarik yang terjadi pada komposit. Pada bagian atas komposit mengalami gaya tekan akibat beban yang diberikan oleh mesin, pada sisi bawah komposit mengalami gaya tarik akibat defleksi yang terjadi setelah komposit diberi beban. Dengan beban yang terus diterima oleh komposit maka akan terjadi gaya geser sebelum terjadi kegagalan pada komposit tersebut. Gaya geser yang terjadi pada interlaminer menyebabkan delaminasi pada komposit tersebut, sehingga mengakibatkan kegagalan pada spesimen *bending*.



Gambar 2.16 spesimen yang dikenai beban *bending*[8]

Model kegagalan komposit *sandwich* akibat mengalami tegangan *bending* (*three/four point bending*) biasanya berupa *face yield/ micro buckling*, *core shear*, *core crushing*, dan *indentation/face wrinkle* [13]. Kegagalan *micro buckling* biasanya terjadi pada *skin* komposit *sandwich* yang relatif tipis terhadap tebal *core*. Kegagalan ini dapat menyebabkan penurunan kekuatan *bending* secara drastis. Kerusakan tipe gagal *core shear* biasanya terjadi pada balok *sandwich* dengan *skin* yang relatif tebal dengan *span* yang pendek. Kegagalan didominasi oleh lemahnya kekuatan *core* yang digunakan. Kegagalan *indentation/face wrinkle* akan muncul pada balok *sandwich*

dengan *core* yang relatif tebal jika dibandingkan dengan ketebalan *skin* dan kekuatan *core* yang sangat rendah. Kegagalan ini menyebabkan defleksi yang lebih besar dibandingkan dengan model kegagalan lainnya. Kegagalan *bond Failure* ditunjukkan oleh terlepasnya *core* dengan *skin* karena tidak mampu menahan beban geser pada *inteface*.



Gambar 2.17 Aneka mode kegagalan uji *bending* komposit *sandwich*. [14]

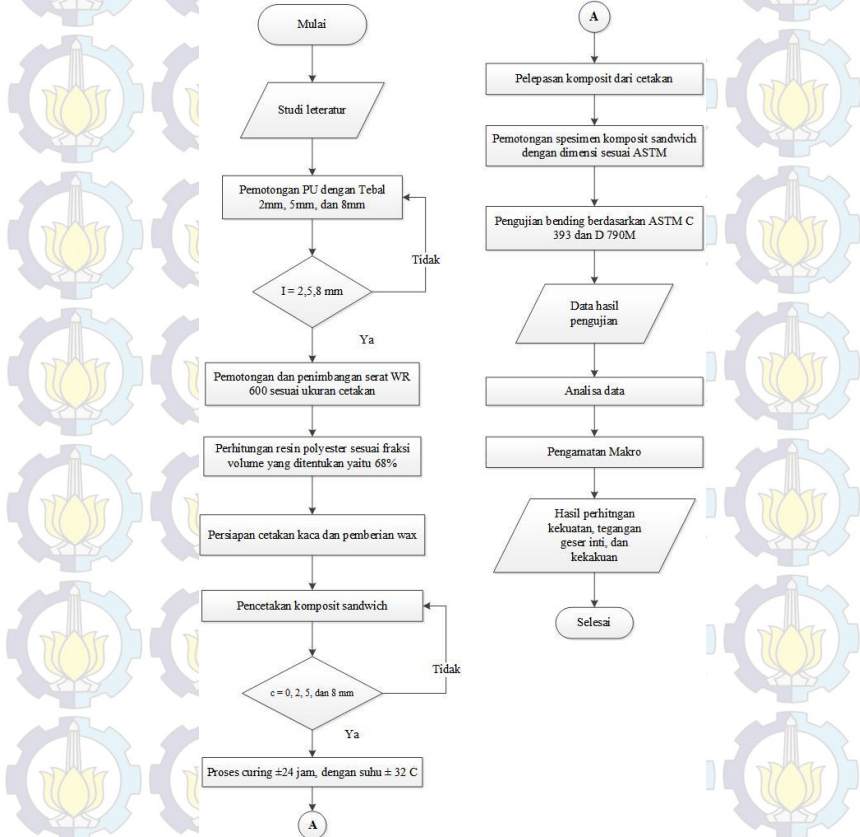
Kegagalan pada komposit *sandwich* sering terjadi dikarenakan tegangan geser pada bagian inti. Bagian inti komposit *sandwich* pada saat menerima gaya mengalami tegangan yang cukup besar. Tegangan yang dialami seringkali melebihi tegangan normal yang mampu ditahan oleh inti tersebut, sehingga terjadi kerusakan permanen pada bagian inti dan mengakibatkan kegagalan total pada komposit.



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan diagram alir sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram alir percobaan



### 3.2.1 Alat dan Bahan

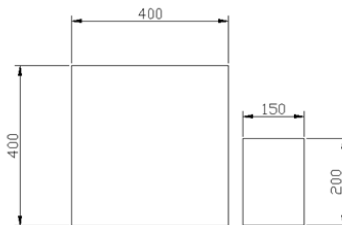
#### 3.2.1 Alat

1. Mesin Uji Tarik-Bending Wolfert



Gambar 3.2 Mesin uji tekan-bending Wolfert

2. Alat Cetak Komposit dengan metode *Hand Lay Up*



Gambar 3.3 Alat cetakan komposit (dimensi dalam mm)

3. Mikroskop Stereo Zeiss STEMI DV4



Gambar 3.4 Mikroskop Stereo Zeiss STEMI DV4

#### 4. Mesin potong *polyurethane*



Gambar 3.5 Mesin potong *polyurethane* KRISBOW

5. Alat bantu : gerinda, gergaji gunting, roller, kuas
6. Alat ukur : timbangan, jangka sorong, gelas ukur
7. Alat keselamatan : sarung tangan dan masker
- 8.

#### 3.2.2 Bahan Pembuatan Komposit

- 1 Resin *unsaturated polyester* Yukalac 157 BTQN- EX.
- 2 Lembaran serat kaca *Woven Roving* (WR 600).



Gambar 3.6 Woven Roving (WR 600)

3. *Polyurethane* dengan densitas  $0,044 \text{ g./cm}^3$



Gambar 3.7 *Polyurethane*

### 3. Katalis MEKPO



Gambar 3.8 Katalis MEKPO

#### 3.3 Pembentukan Komposit

Pada penelitian ini komposit yang akan di buat berbentuk *sandwich* dengan *skin* menggunakan matriks *polyester* jenis Yukalac 157 dengan penguat serat kaca *woven roving 600*. Dalam pembuatannya, digunakan perbandingan polyester dengan WR600 yang konstan yaitu 0,68 : 0,32. Laminat dibuat menggunakan arah serat  $(0,90)_4$  untuk kulit (*skin*) atas dan bawah Sedangkan untuk bagian *core* menggunakan *polyurethane* dengan ketebalan 2mm, 5mm, dan 8mm. *Core* kemudian ditambah di tengah spesimen dengan variasi  $[(0/90)_4]$ , *Polyurethane* (2mm, 5mm, 8mm),  $[(0/90)_4]$ . Proses pembuatan komposit dilakukan dengan beberapa tahap yaitu tahap pemotongan *core*, tahap pembentukan komposit *sandwich*, dan pembentukan spesimen uji

##### 3.3.1 Tahap Persiapan Cetakan Komposit Sandwich

Tahap persiapan komposit *sandwich* terdiri atas:

1. Membuat batas ketinggian dengan variasi dari ketebalan *polyurethane* yaitu 2mm, 5mm dan 8mm dan sesuai dengan ukuran cetakan yaitu 200mmx150mm.
2. Pelapisan cetakan dan batas ketinggian dengan wax agar komposit dapat dengan mudah diambil terlihat pada gambar 3.9.



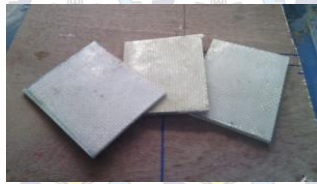


Gambar 3.9 Persiapan cetakan komposit

3. Penentuan perbandingan fraksi volume serat dengan resin. Pada penelitian ini digunakan perbandingan fraksi volume resin dengan serat sebesar 0,68 : 0,32.
4. Menimbang berat fiberglass dan menakar resin yang akan digunakan.
5. Penentuan perbandingan resin dengan katalis. Pada penelitian ini digunakan perbandingan resin dengan katalis sebesar 100 : 1.
6. Masukkan resin serta katalis dalam satu wadah lalu aduk sampai homogen atau berubah warna menjadi kecoklatan.
7. Oleskan resin kedalam cetakan secara merata keseluruh cetakan menggunakan kuas dan kapi.
8. Letakan fiber kedalam cetakan lalu tekan secara merata dengan kuas dan oleskan resin pada fiber sampai rata keseluruh permukaannya
9. Ulangi dua langkah diatas sampai pada lapisan keempat lalu oleskan resin kepermukaan *polyurethane* secara merata tunggu dan beberapa saat.
10. Letakan *polyurethane* yang telah dioleskan resin dan tekan seluruh permukaannya agar menempel dan mengeluarkan udara yang ada pada lapisan fiber.
11. Oleskan kembali resin pada permukaan *polyurethane* secara merta dan letakan fiber diatasnya.
12. Oleskan kembali resin pada fiber secara merata dan letakan fiber di atasnya, ulangi langkah ini sampai lapisan kedelapan.



13. Letakan penutup cetakan yang telah diberi wax lalu tambahkan pemberat agar didapatkan permukaan yang rata pada lapisan teratas.
14. Diamkan pada temperatur ruangan untuk proses *curing*  $\pm 24$  jam.
15. Spesimen dapat dilepas dari cetakan, dan terlihat hasilnya pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Hasil cetakan

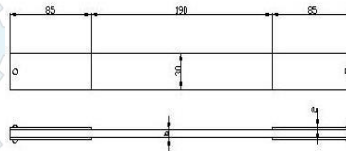
16. Spesimen dipotong sesuai ukuran untuk spesimen spesimen *bending* 110 mm x 30 mm dengan menggunakan *cutting wheel* / gerinda tangan. Dalam proses ini dibutuhkan kesabaran dan kehati-hatian agar spesimen tidak pecah ataupun retak.

Gambar 3.11 Spesimen Uji *Bending*Gambar 3.12 Konfigurasi Lamina Spesimen *Bending*

### 3.4 Pelaksanaan Uji

#### 3.4.1 Spesimen Uji tarik

Spesimen uji tarik pada penelitian ini dibentuk berdasarkan standar uji tarik komposit yaitu ASTM D3039-76, “*Standar Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*” [9]. Bentuk serta dimensi dari spesimen uji tarik adalah seperti gambar 3.13. Hasil dari pengujian adalah berupa grafik P- $\Delta L$  yang diperoleh dari mesin uji tarik serta kekuatan tarik maksimum spesimen. Grafik tegangan-regangan, perpanjangan dihitung secara manual.



Gambar 3.13 Spesimen uji tarik (dimensi dalam mm)

#### Prosedur uji tarik

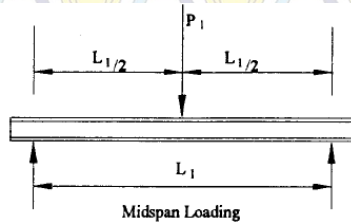
Langkah-langkah pengujian tarik adalah sebagai berikut:

1. Masing-masing spesimen diberi label sesuai variabel yang digunakan.
2. Pencatatan dimensi awal dari spesimen, yaitu :
3. Panjang awal ( $L_0$ ) = 360 mm
4. Lebar ( $b$ ) = 30 mm
5. Tebal ( $d$ ) = 6 mm
6. Memasang spesimen pada penjepit/*chuck*.
7. Pembebanan pada spesimen hingga patah.
8. Setelah patah, spesimen dilepas dari penjepit.
9. Pencatatan data yang didapatkan dari mesin berupa P- $\Delta L$  serta kekuatan tarik.

#### 3.4.2 Spesimen Uji Bending

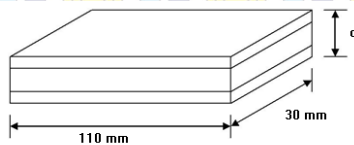
Pengujian *bending* komposit *sandwich* ini menggunakan metode *three point bending*. Panjang span ( $L_1$ ) dalam pengujian ini adalah 60 mm dengan pembebanan maksimum 60 KN ( $P_1$ ).

Pengujian *bending* menggunakan standar uji ASTM C 393-00 (*sandwich*) dan “*Standard Test Method for Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*” D790-84a. Mesin yang digunakan untuk uji *bending* sedapat mungkin mampu menjaga agar kecepatan pembebanan tetap konstan selama pengujian. Uji *bending* ini menggunakan Mesin Uji Tarik-*Bending* Wolfert. Skema pengujian *bending* komposit *sandwich* ditunjukkan pada gambar 3.14.



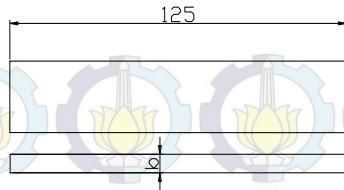
Gambar 3.14 Skema pengujian *bending* komposit *sandwich*

Bentuk dari spesimen uji *bending* ASTM C393 komposit *sandwich* adalah sebagai berikut :



Gambar 3.15 Bentuk dan dimensi uji *bending* C 393

Bentuk dari spesimen uji *bending* ASTM D 790M komposit *GFRP* adalah sebagai berikut :



Gambar 3.16 Bentuk dan dimensi uji *bending* komposit *D790M* (dimensi dalam mm)

### 3.4.3 Prosedur uji *Bending*.

Tahapan pengujian *bending* dilakukan sesuai dengan langkah berikut:

1. Mengukur dimensi spesimen meliputi: panjang, lebar dan tebal.
2. Pemberian label pada setiap spesimen yang telah diukur untuk menghindari kesalahan pembacaan.
3. Menghidupkan mesin untuk uji *bending*.
4. emasangan spesimen uji pada tumpuan dengan tepat dan pastikan *indentor* tepat di tengah-tengah kedua tumpuan.
5. Pencatatan besarnya *defleksi* yang terjadi pada spesimen dengan kecepatan konstan, setiap penambahan beban sampai terjadi kegagalan.
6. Setelah mendapatkan data hasil pengujian dilanjutkan dengan perhitungan karakteristik *bending* pada table 3.1.

### 3.4.4 Teknik Pengumpulan Data

Lembar pengamatan sangat diperlukan dalam suatu penelitian. Langkah ini akan mempermudah dalam proses pengolahan dan selanjutnya. Dengan menggunakan lembar pengamatan tersebut, diharapkan penelitian yang dilaksanakan dapat berjalan dengan tertib dan data yang didapat tercatat dengan baik. Adapun lembar pengamatan dalam penelitian ini sebagai berikut



Tabel 3.1 Data Pengujian *Bending*

NO	Tebal Inti (mm)	berat (g)	t (mm)	c (mm)	d (mm)	b (mm)	P (N)	$\delta$ (mm)
1	2							
2								
3								
4	5							
5								
6								
7	8							
8								
9								

Keterangan :

t = tebal *skin* (mm)d = tebal *sandwich* (mm)c = tebal *core* (mm)b = lebar *sandwich* (mm) $\delta$  = Defleksi (mm)

## BAB IV DATA HASIL PENELITIAN

### 4.1 Kekuatan tarik kulit (*skin*)

Pengujian uji tarik menggunakan mesin Tarik-Bending Wolfert dengan beban (P) maksimal sebesar 30KN. Pengujian dilakukan terhadap 3 spesimen uji menggunakan standar pengujian ASTM D3039-76, “*Standar Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*”.



Gambar 4.1 Spesimen uji tarik

Hasil pengujian tarik kulit komposit *sandwich* dengan 4 lapis WR600 dan polyester dengan fraksi volume 48 :62 adalah sebagai berikut

Tabel 4.1 Hasil Uji tarik kulit Komposit *Sandwich*

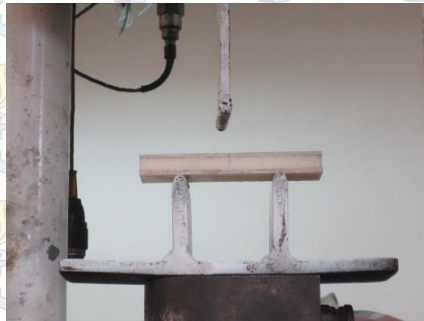
No	b (m)	$\Delta L$ (m)	P (N)	A0 (m <sup>2</sup> )	L0 (m)	$\epsilon$ (%)	$\sigma$ (Mpa)	E tarik (Mpa)
1	0,03	0,002	9700	0,00006	0,36	0,006	161,67	29100
2	0,03	0,002	8600	0,00006	0,36	0,006	143,33	25800

Pengjian spesimen pertama menunjukkan nilai sebesar 29100 Mpa, dan pada pengujian kedua didapatkan nilai modulus elastisitas sebesar 25800 Mpa. Data pengujian spesimen ketiga tidak dapat dihitung dikarenakan gagal saat proses uji tarik, kegagalan uji ini disebabkan oleh lepasnya ikatan antara spesimen uji dan besi penjepit. Dari spesimen yang data diatas, maka didapat rata-rata modulus elastisitas permukaan (E) dari *skin* dengan tebal 2 mm adalah 27.450 MPa. Modulus elastisitas ini

digunakan untuk menghitung kekakuan *bending* pada masing – masing variasi spesimen.

#### 4.2 Hasil Pengujian *Bending* Komposit *Sandwich*

Pengujian *bending* dilakukan dengan berdasarkan pada standar ASTM C 393-00 dan D 790M dengan *indenter* 20 mm dan panjang penumpu (*span length*) pada pengujian sebesar 60 mm dengan skala pembebanan maksimum 60 KN.



Gambar 4.2 Pengujian *Bending*

Standar pengujian ASTM C393 digunakan untuk spesimen uji *sandwich*, sedangkan untuk spesimen pengujian 8 lapis GFRP menggunakan standar uji ASTM D 790. Hasil pengujian *bending* terhadap masing-masing lima spesimen uji komposit *sandwich* tiap variasi tebal inti pada komposit *sandwich* ditampilkan pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Hasil Uji *Bending* Komposit *Sandwich*

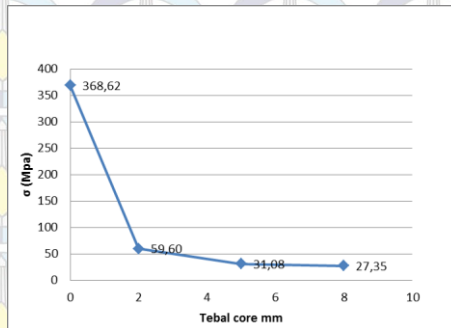
No	spesimen	kode	Berat (g)	P(KN)	Def (mm)	$\sigma$ (Mpa)	E bending (Gpa)	M (Nm)
1	GFRP 8 lapis	SG81	25,2	1,35	5	306,4	10,212	20,25
2		SG82		1,55	6	372,1	10,633	23,25
3		SG83		1,7	6	384,5	10,682	25,5
4		SG84		1,48	5	335,9	11,196	22,2
5		SG85		1,85	4	444,2	19,036	27,75
	spesimen	kode	Berat (g)	P(KN)	Def (mm)	$\sigma$ (Mpa)	$\tau$ Core (Mpa)	$D \times 10^5$ (Nmm2)
6	sandwich core 2mm	SC21	25,16	1,05	11	62,65	4,176	16,585
7		SC22		0,7	12	42,21	2,814	16,719
8		SC23		1,2	10	72,22	4,814	16,627
9		SC24		1,1	12	64,19	4,279	17,727
10		SC25		0,95	10	56,72	3,781	16,574
11	sandwich core 5mm	SC51	25,93	0,7	12	27,24	1,816	84,832
12		SC52		0,75	11	29,82	1,988	77,893
13		SC53		0,85	9	33,37	2,224	80,723
14		SC54		0,8	13	31,23	2,082	82,692
15		SC55		0,85	11	33,74	2,249	78,346
16	sandwich core 8mm	SC81	26,17	0,9	20	30,22	2,014	143,788
17		SC82		0,7	18	23,68	1,579	139,613
18		SC83		0,85	20	27,83	1,855	153,178
19		SC84		0,75	25	25,01	1,667	146,71
20		SC85		0,9	23	30,03	2,002	143,955

Keterangan :

Sg8: spesimen *bending* composite 8 Layer GFRPSc2: spesimen *bending* composite *sandwich* dengan ketebalan inti *polyurethane* 2 mm.Sc5: spesimen *bending* composite *sandwich* dengan ketebalan inti *polyurethane* 5 mm.Sc8: spesimen *bending* composite *sandwich* dengan ketebalan inti *polyurethane* 8 mm.



### 4.3 Pengaruh ketebalan inti polyurethane Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich



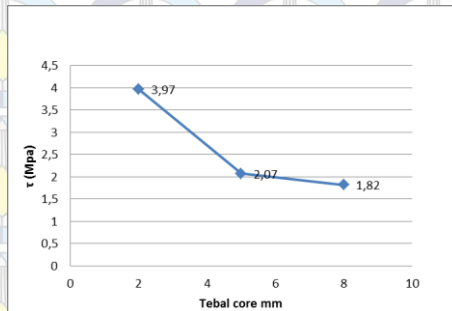
Gambar 4.3 Perbandingan tegangan *bending* komposit *sandwich*

Dari gambar 4.3 dapat dilihat Grafik tegangan *bending* komposit *sandwich* yang menunjukkan bahwa penambahan tebal inti *polyurethane* pada komposit *sandwich* mengalami penurunan nilai tegangan *bending* seiring dengan penambahan tebal inti *polyurethane*. Pernyataan tersebut berdasarkan pada persamaan 2.17 ASTM C 393 mengenai *facing bending stress* dan persamaan 2.12 D790M untuk pengujian tanpa *core*.

Tegangan *bending* rata-rata komposit 8 lapis GFRP adalah 368,62 Mpa jauh melebihi tegangan komposit *sandwich* dengan *core polyurethane*. Tegangan *bending* rata-rata pada komposit *sandwich* dengan tebal inti 2 mm adalah 59,595 Mpa , sedangkan pada komposit *sandwich* dengan tebal inti 5 mm adalah 31,0807 Mpa atau lebih rendah 47,84% dari tebal inti 2 mm. Pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 8 mm tegangan *bending* rata-ratanya adalah 27,352 MPa atau turun sebesar 11,99% dari tebal inti 5 mm dan turun sebesar 54,11% dari tebal inti 2mm. Jadi semakin tebal inti *polyurethane* yang digunakan , tegangan *bending* pada komposit *sandwich* justru semakin menurun.

Kekuatan *bending* komposit sandwich pada prinsipnya dihasilkan oleh *skin* semakin tebal *core* yang digunakan jarak antara kedua *skin* akan semakin jauh, sehingga kekuatan *skin* akan dipengaruhi oleh ketebalan *core*. Pada *core* 2 mm memiliki nilai terbesar dikarenakan kedua *skin* bekerja bersama saat menerima beban *bending*. Dan pada *core* 8 mm *skin* bagian atas akan rusak terlebih dahulu oleh beban kompresi sedangkan *skin* bagian bawah akan rusak oleh beban tarik setelah melewati dari ketebalan *core*. Faktor lain yang mempengaruhi semakin menurunnya tegangan *bending* ini dikarenakan dimensi komposit *sandwich* yang semakin besar. Semakin tebal inti yang digunakan, dimensi komposit *sandwich*-nya akan semakin besar. Dimensi yang besar akan menyebabkan bertambah besar momen inersianya. Hal ini dapat ditunjukkan pada rumus momen inersia yaitu  $\frac{1}{12}bh^3$ , di mana *b* adalah lebar *sandwich* dan *h* adalah tebal *sandwich*. Semakin tebal *core* yang digunakan, maka faktor *h* akan semakin besar pula pengaruhnya sedangkan rumus dasar tegangan *bending* adalah  $\sigma = \frac{Mc}{I}$ , dimana *I* adalah momen inersia. Maka tegangan (kekuatan) *bending*nya akan semakin kecil karena berbanding terbalik dengan momen inersianya.

#### 4.4 ketebalan inti *polyurethane* Terhadap Tegangan Geser Inti (Core) Komposit *Sandwich*



Gambar 4.4 Perbandingan tegangan geser inti (core) terhadap tebal core komposit sandwich

Dari gambar 4.4 dapat dilihat grafik tegangan geser inti vs tebal *core* menunjukkan bahwa pada penambahan tebal inti *polyurethane* pada komposit *sandwich* mengalami penurunan nilai tegangan geser pada *interface* inti dengan *skin* komposit *sandwich* seiring dengan penambahan inti *polyurethane*. Pernyataan tersebut berdasarkan persamaan 2.16 ASTM C 393 mengenai *core shear stress*.

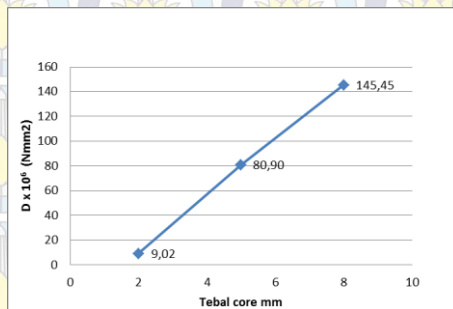
Tegangan geser rata-rata pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 2 mm adalah 3,973 MPa, sedangkan pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 5 mm adalah 2,072MPa atau lebih rendah 47,84% dari tebal *core* 2 mm. Pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 8 mm nilai tegangan geser sebesar 1,823 Mpa atau turun sebesar 12,01% dari tebal *core* 5 mm dan turun sebesar 54,11% dari tebal *core* 2mm. Sama dengan tegangan *bending*, pada tegangan geser inti juga menunjukkan semakin tebal *core polyurethane* yang digunakan, tegangan geser inti *polyurethane* pada komposit *sandwich* justru semakin menurun.

Hal ini juga diakibatkan karena semakin besar dimensi pada suatu benda uji maka tegangan gesernyapun akan semakin kecil karena dimensi benda uji sebagai pembagi dari besarnya



beban yang diberikan pada benda uji tersebut. Untuk mencari besarnya tegangan geser pada *core* (*core shear stress*) dapat dihitung dengan persamaan 2.16 ASTM C 393

#### 4.5 Kekakuan inti *polyurethane* Terhadap Tegangan Geser Inti (*Core*) Komposit *Sandwich*



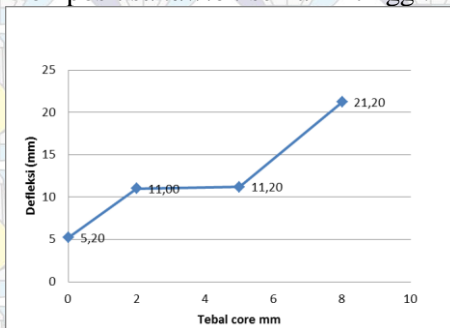
Gambar 4.5 Perbandingan kekakuan terhadap tebal *core* komposit *sandwich*

Dari gambar 4.5 dapat dilihat grafik kekakuan vs tebal *core* menunjukkan bahwa pada penambahan tebal *core polyurethane* pada komposit *sandwich* serat WR -polyester, mengalami peningkatan nilai kekakuan komposit *sandwich* seiring dengan penambahan *core polyurethane*. Berdasarkan pada persamaan 2.18 ASTM C 393 mengenai *panel bending stiffness*. Pada tebal *core* 2 mm, kekakuan *bending* rata-ratanya adalah  $16,846 \times 10^6 \text{ Nmm}^2$  sedangkan pada tebal *core* 5 mm kekakuan *bending* rata-ratanya adalah  $80,897 \times 10^6 \text{ Nmm}^2$  atau lebih tinggi 79,17 % dari rata-rata kekakuan *bending* dengan tebal *core* 2, sedangkan dengan tebal *core* 8 mm memiliki nilai kekakuan sebesar  $145,449 \times 10^6 \text{ Nmm}^2$ , rata-rata kekakuan *bending*nya meningkat 44,38% dari tebal *core* 5 mm dan meningkat tajam dibandingkan dengan tebal inti 2mm yaitu sebesar 88,41%. Secara umum dari grafik hubungan antara kekakuan *bending*



( $\text{Nmm}^2$ ) dengan tebal *core* (mm) diperoleh kesimpulan bahwa besarnya kekakuan *bending* rata-rata ( $\text{Nmm}^2$ ) pada komposit *sandwich* meningkat secara signifikan seiring dengan bertambahnya tebal inti (*core*).

Namun dilihat dari grafik dibawah mengenai tebal inti komposit *sandwich* vs defleksi menunjukan *trend* yang berbanding terbalik dibandingkan grafik kekakuan komposit *sandwich*. Semakin tebal inti *polyurethane* maka nilai defleksi dari spesimen komposit *sandwich* semakin tinggi.



Gambar 4.6 Perbandingan Defleksi terhadap tebal core komposit *sandwich*

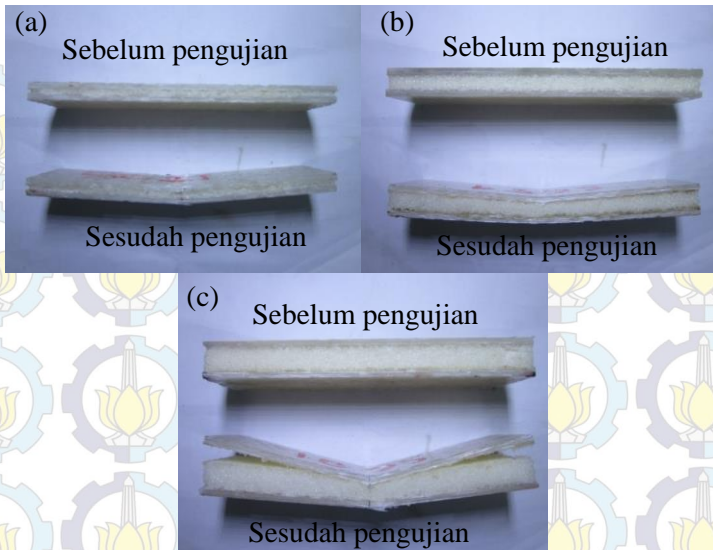
Pada gambar 4.6 terlihat bahwa komposit tanpa *core* memiliki nilai defleksi sebesar 5,2 mm atau lebih rendah 52,72 % dari ketebalan 2mm. Sedangkan pada ketebalan Pada tebal *core* 2 mm defleksi rata-ratanya adalah 11 mm , sedangkan pada tebal *core* 5 mm kekakuan *bending* rata-ratanya adalah 11,2 mm atau lebih tinggi 1,81 % dari rata-rata kekakuan *bending* dengan tebal *core* 2, sedangkan dengan tebal *core* 8 m memiliki nilai kekauan sebesar 21,2 mm, rata-rata kekakuan *bending*nya meningkat 47,16% dari tebal *core* 5 mm dan meningkat dibandingkan dengan tebal inti 2mm yaitu sebesar 48,11%. Secara umum dari grafik hubungan antara defleksi dengan tebal *core* (mm) diperoleh kesimpulan bahwa besarnya defleksi pada komposit *sandwich* meningkat secara signifikan seiring dengan bertambahnya tebal inti (*core*).

#### 4.6 Hasil Pengamatan Patahan Spesimen Komposit Sandwich Setelah Uji Bending

Setelah dilakukan pengujian *bending* spesimen diamati secara makro mengunakan mikroskop *Stereo Zeiss STEMI DV4* untuk melihat kegagalan yang terjadi pada komposit *sandwich* dengan variasi tebal inti (*core*) *polyurethane* berdasarkan penjelasan pada bab 2.9 metode kegagalan komposit *sandwich*. Pada gambar 4.7 dibawah terlihat perbedaan spesimen sebelum dan sesudah pengujian *bending*.



Gambar 4.7 spesimen komposit *sandwich* sebelum dan sesudah diuji *bending*.



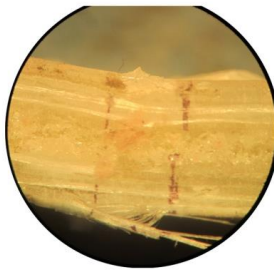
Gambar 4.8 (a) spesimen 2mm sebelum dan sesudah pengujian bending (b) spesimen 5mm sebelum dan sesudah pengujian bending (c) spesimen 8mm sebelum dan sesudah pengujian bending

Gambar 4.8 menunjukkan kegagalan pada pengujian *bending* komposit *sandwich* dengan masing-masing tebal *core* yang berbeda. Ketika diuji *bending*, semua titik pada spesimen akan mengalami tegangan yang besarnya berbeda. Pada umumnya komposit *sandwich* menerima tekan/kompresi pada *skin* bagian atas, tegangan geser pada bagian *core*, dan tegangan tarik pada bagian *skin* bawah. Kegagalan pada komposit *sandwich* sering terjadi dikarenakan tegangan geser pada bagian inti. Bagian inti komposit *sandwich* pada saat menerima gaya mengalami tegangan yang cukup besar. Tegangan yang dialami seringkali melebihi tegangan geser yang mampu ditahan oleh inti tersebut, sehingga terjadi kerusakan permanen pada bagian inti dan mengakibatkan kegagalan total pada komposit.

Material *Polyurethane* mengalami kegagalan tipe *shear core* karena tegangan geser terjadi yang sudah melewati tegangan geser ijin material *core* itu sendiri, yang memiliki nilai sebesar 0,7 Mpa. Ketika inti sudah mengalami kerusakan, maka kemampuan material komposit sandwich untuk menerima tegangan bending akan berkurang sehingga tegangan ini akan lebih banyak diderita oleh skin. kemampuan menahan beban pada *skin* cukup baik, ini dikarenakan sifat *skin* yang cenderung keras dan getas sedangkan *polyurethane* memiliki sifat yang *elastis*. Pada pengujian bending bahan komposit, spesimen tidak patah seperti pada pengujian bending bahan tanpa menggunakan penguat (*reinforce*), hal ini dikarenakan struktur bahan komposit tidak homogen karena tersusun dari serat dan matriks yang diakrenakan beban didistribusikan dimasing laminae penyusun komposit dan didukung oleh penggunaan serat jenis WR yang berbentuk seperti anyaman.

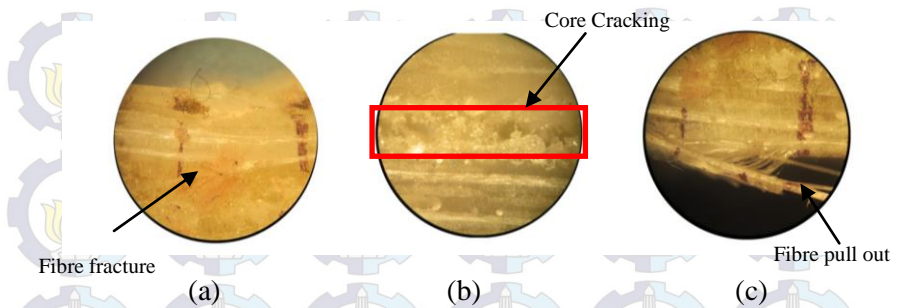


#### 4.7 Hasil Pengamatan Patahan Spesimen dengan Tebal Inti (core) Polyurethane 2mm dan Kulit GFRP 4 Layer.



Gambar 4.9 Foto makro patahan spesimen sandwich core 2mm dengan perbesaran 12x

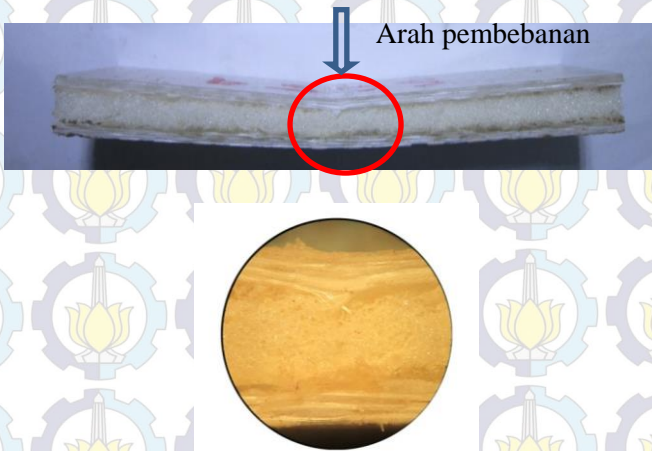
Pada pengujian *three point bending*, spesimen akan mendapatkan gaya tekan di bagian atas dan gaya tarik di bagian bawah, sebagaimana yang telah dijelaskan pada gambar 2.16. Terlihat pada gambar 4.9 adalah pengamatan makro komposit *sandwich* dengan tebal *core* 2mm setelah pengujian *bending*. terlihat mekanisme kegagalan secara keseluruhan dari komposit *sandwich* berupa *micro buckling*. *micro buckling* disebabkan oleh ikatan yang baik antar lamina penyusun komposit *sandwich* dilihat dari ikatan matrik (polyester) dengan reinforce (fiber) dan ikatan antara kulit dan inti komposit sandiwich. Hal tersebut ditunjukkan dengan bentuk patahan komposit *sandwich* secara rata pada permukaannya dengan tidak adanya serabut-serabut serat. Sehingga sifat matriks yang getas mampu direduksi oleh sifat serat yang kuat dan sifat *core polyurethane* yang elastis.



Gambar 4.10 Kegagalan komposit *sandwich core* 2mm dengan perbesaran 32x (a) Skin atas (b) *Core* (c) Skin bawah

Pada gambar 4.10 dijelaskan kerusakan yang terjadi pada tiap bagian dari komposit *sandwich*. Pada tebal 2mm terlihat kerusakan berupa *fiber fracture* yang diakibatkan tegangan tekan/kompresi, pada *core polyurethane* terlihat adanya *core cracking* hampir di sepanjang spesimen uji di karenakan nilai tegangan geser inti *polyurethane* yang besar sehingga terjadi kerusakan ketika dikenai beban *bending* berbeda dengan ketebalan inti lainnya pada tebal 2 mm tidak terjadi delaminasi antara *core* dan *skin*. Pada skin bagian bawah akibat adanya tegangan tarik terlihat adanya *fibre pull out* sebagai akibat dari kurang kuatnya ikatan *interface* antara serat dengan resin sehingga serat kaca tercabut dari matiknya saat menerima beban tarik dan delaminasi karena tegan geser yang terjadi pada laminae. Delaminasi disebabkan beban yang terus diterima komposit maka akan terjadi gaya geser sebelum terjadi kerusakan pada komposit tersebut.

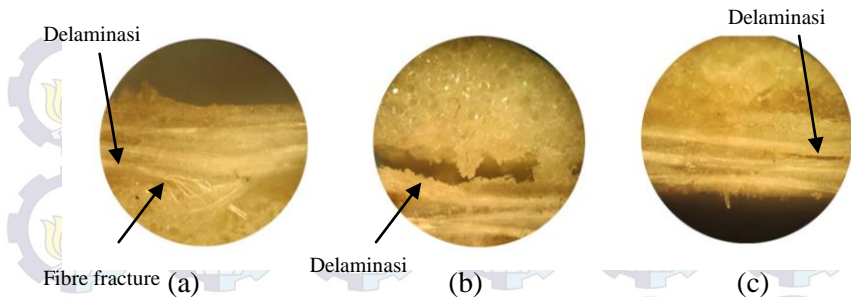
#### 4.8 Hasil Pengamatan Patahan Spesimen dengan Tebal Inti (core) Polyurethane 5mm dan Kulit GFRP 4 Layer.



Gambar 4.11 Foto makro patahan spesimen sandwich core 5mm

Pada pengujian *three point bending*, spesimen akan mendapatkan gaya tekan di bagian atas dan gaya tarik di bagian bawah, sebagaimana yang telah dijelaskan pada gambar 2.16. Terlihat dari gambar 4.11 pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 5 mm terlihat mekanisme kegagalan secara keseleruhan dari komposit *sandwich* tidak begitu nampak namun mendekati tipe kerusakan berupa *micro buckling*. *micro buckling* disebabkan oleh ikatan yang baik antar lamina penyusun komposit *sandwich* dilihat dari ikatan matrik (polyester) dengan reinforce (fiber) dan ikatan antara kulit dan inti komposit *sandwich*. Hal tersebut ditunjukkan dengan bentuk patahan komposit *sandwich* secara rata pada permukaannya dengan tidak adanya serabut-serabut serat. Sehingga sifat matrik yang getas mampu direduksi oleh sifat serat yang kuat dan sifat *core polyurethane* yang elastis.



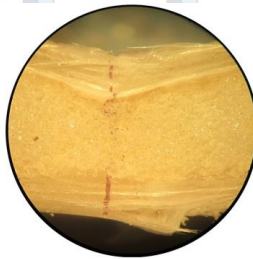
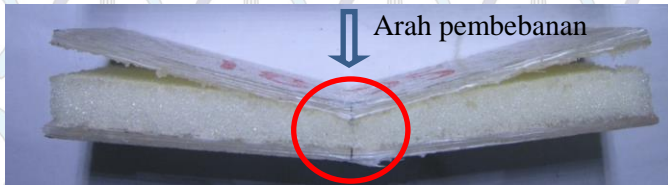


Gambar 4.12 Kegagalan komposit *sandwich core* 5 mm dengan perbesaran 32x (a) Skin atas (b) Core (c) Skin bawah

Pada gambar 4.12 dijelaskan kerusakan yang terjadi pada tiap bagian dari komposit *sandwich*. Pada tebal 5mm terlihat *Delaminasi* dan *Fiber fracture* disebabkan oleh gaya kompresi yang diterima skin atas. Pada bagian inti (*core*) terlihat kerusakan berupa *delaminasi* antara kulit dengan inti polyurethane pada bagian bawah yang disebabkan gaya tarik yang diterima inti dengan ketebalan 5mm cukup besar sedangkan nilai tegangan geser *inteface* kecil pada ujung spesimen sehingga ikatan antar kulit dan inti terlepas. Dan pada skin bagian bawah akibat adanya tegangan tarik kerusakan yang terjadi adalah *delaminasi* pada bagian kulit bawah yaitu terlepasnya antar matrik dan fiber karena teganan geser yang terjadi pada laminae. *Delaminasi* disebabkan beban yang terus diterima komposit maka akan terjadi gaya geser sebelum terjadi kerusakan pada komposit tersebut.



#### 4.9 Hasil Pengamatan Patahan Spesimen dengan Tebal Inti (core) Polyurethane 8mm dan Kulit GFRP 4 Layer.

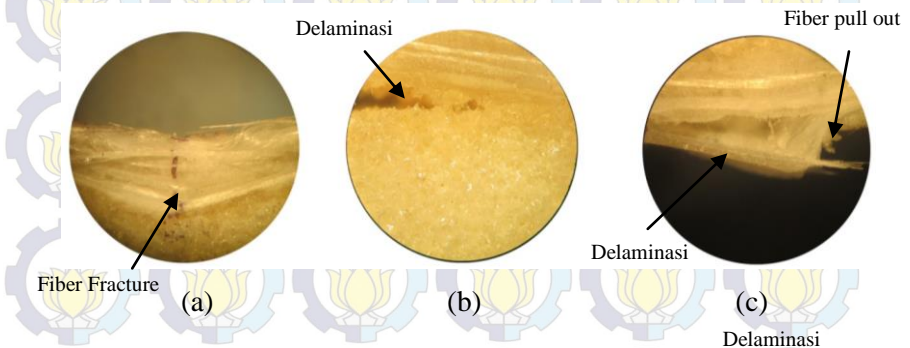


Gambar 4.13 Foto makro patahan spesimen sandwich core 8mm

Pada pengujian *three point bending*, spesimen akan mendapatkan gaya tekan di bagian atas dan gaya tarik di bagian bawah, sebagaimana yang telah dijelaskan pada gambar 2.22. Dari gambar 4.13, pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 8 mm terlihat mekanisme kegagalan dari komposit *sandwich* didominasi oleh *facesheet debonding*. *facesheet debonding* adalah terjadinya delaminasi antara inti dan kulit, dan hampir terjadi pada seluruh spesimen uji dengan tebal inti 8mm. Delaminasi antara inti dan kulit memperlihatkan bahwa nilai  $\tau$  *core* yang kecil menyebabkan interface tidak mampu menerima beban geser. Berbeda dengan dua variasi ketebalan sebelumnya  $\tau$  *core* masih mampu menahan  $\tau$  yang diterima benda uji.



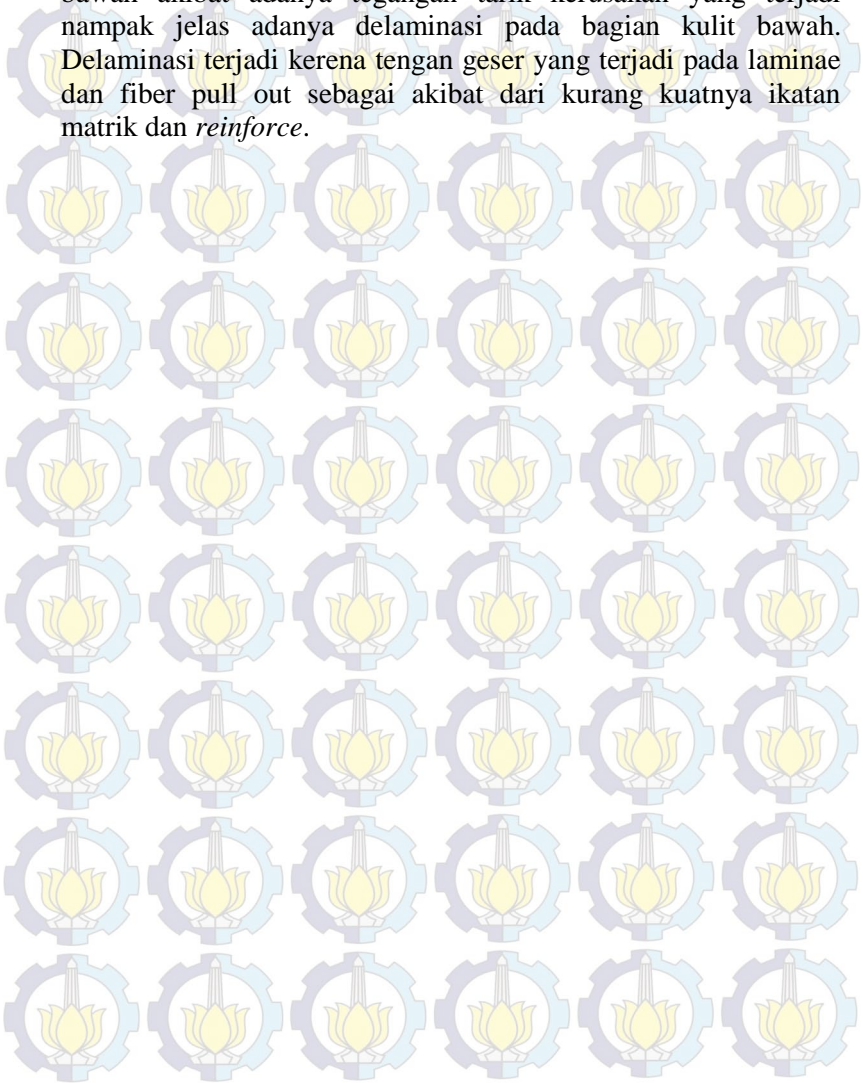
Gambar 4.14 delaminasi antara inti dan kulit pada komposit *sandwich core* 8mm dengan perbesaran 12x



Gambar 4.15 Kegagalan komposit *sandwich core* 8 mm dengan perbesaran 32x (a) Skin atas (b) Core (c) Skin bawah

Pada gambar 4.15 dijelaskan kerusakan yang terjadi pada tiap bagian dari komposit *sandwich*. Pada tebal 8mm terlihat *fiber pull out* sebagai akibat dari kurang kuatnya ikatan interface antara serat dengan resin dan *Fiber fracture* disebabkan oleh gaya kompresi yang diterima skin atas. Pada bagian inti (*core*) terlihat kerusakan yang dominan berupa *delaminasi* antara kulit baik bagian atas maupun bawah dengan inti *Polyurethan* yang disebabkan gaya kompresi maupun tarik yang diterima inti dengan ketebalan 8mm pada spesimen sehingga ikatan antar terlepas, namun *core* itu sendiri tidak mengalami kerusakan yang cukup signifikan dibandingkan tebal 2 mm dan 5 mm disebabkan

nilai tegangan geser pada *core* yang kecil. Pada kulit bagian bawah akibat adanya tegangan tarik kerusakan yang terjadi nampak jelas adanya delaminasi pada bagian kulit bawah. Delaminasi terjadi kerana tegan geser yang terjadi pada laminae dan fiber pull out sebagai akibat dari kurang kuatnya ikatan matrik dan *reinforce*.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari data-data dan hasil perhitungan yang diperoleh dari pengujian *bending* komposit *sandwich* dengan *core polyurethane*, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Tegangan *bending* komposit *sandwich* dengan *core polyurethane* semakin menurun seiring dengan penambahan tebal *core polyurethane*. Pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 2 mm, nilai tegangan *bending* rata-ratanya adalah 59,595 MPa sedangkan pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 8 mm tegangan *bending* rata-ratanya adalah 27,325 Mpa atau turun sebesar 54,11%. . Disebabkan oleh perbedaan dimensi *core* yang menyebabkan perbedaan penerimaan tegangan *skin* atas dan bawah. Dan pengaruh moment inersia dari rumus umum tegangan *bending*.
2. Kekakuan *bending* komposit *sandwich* dengan *core polyurethane* semakin naik seiring dengan penambahan tebal *core polyurethane*. Pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 8 mm, kekakuan *bending* rata-ratanya adalah  $145,449 \times 10^6 \text{ Nmm}^2$  sedangkan pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 2 mm kekakuan *bending* rata-ratanya adalah  $16,846 \times 10^6 \text{ Nmm}^2$  atau meningkat sebesar 88,41%. Namun ditinjau dari nilai defleksinya berbanding terbalik dari nilai kekakuan. Hal tersebut dikarenakan faktor karakteristik dari *foam core* yang elastis.
3. Kegagalan komposit *sandwich* didominasi oleh *micro buckling* pada ketebalan *core* 2 mm dan 5 mm. Sedangkan pada ketebalan *core* 8 mm kerusakan didominasi oleh *face debonding*.



## 5.2 Saran

1. Proses pembuatan komposit *sandwich*, terutama dengan material *core polyurethane*, sebaiknya *core polyurethane* diolesi resin terlebih dahulu sebelum dipasangkan pada cetakan. Ini dilakukan karena *polyurethane* mempunyai daya serap yang cukup tinggi, jika tidak diolesi terlebih dahulu, maka resin di atas pada skin akan terserap cukup banyak oleh *polyurethane* dan akan menjadikan *void* (kekosongan/rongga-rongga) pada komposit *sandwich*.
2. *Void* diusahakan seminimal mungkin dalam proses pembuatan komposit *sandwich* dan penyebaran serat harus benar-benar merata sehingga akan menghasilkan komposit dengan kekuatan dan kekakuan yang tinggi.
3. Proses pembuatan spesimen komposit *sandwich* dengan menggunakan metode *hand lay up* menyebabkan spesimen menjadi kotor dan dimensinya sulit dijaga akuransinya. Sebaiknya digunakan metode yang lebih modern dalam proses pembuatanya.
4. Penelitian komposit jenis *sandwich* masih sangat terbuka untuk dikembangkan, terutama pada jenis lapisan permukaan (*skin*) dan jenis *core* nya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Astika, I.M.**, Studi Eksperimental Karakteristik Tarik dan Lelah Pada Komposit Dengan Serat WR dan CSM, Tesis, Jurusan Teknik Mesin ITS (2007).
- [2] **Sharaf, Tarek.A.M**, Flexural Behavior Sandwiche Panels Composed of *Polyurethane Core* and GFRP *skin*, Queen University, Canada (2010)
- [3] **Istanto dkk**, OPTIMASI PENGARUH ORIENTASI SERAT DAN TEBAL *CORE* TERHADAP PENINGKATAN KEKUATAN *BENDING* DAN IMPAK KOMPOSIT *SANDWICH* GFRP DENGAN *CORE* PVC, PS Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret
- [4] **Harbrian, Viendra**, Pengaruh Ketebalan Inti (*core*) Terhadap Kekuatan *Bending* Kompisit *Sandwich* Serat E-glass Chopped Strand Mat-Unsaturated Polyester Resin Denfan Inti Spon, Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Negri Semarang (2007)
- [5] Annual Book of ASTM Standards, D 3039M-95a, *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*, American Society for Testing and Materials (1995).
- [6] **Anonim,2001**. *Technical Data Sheet*, P.T. Justus Kimia Raya, Jakarta.
- [7] **Callister, W.D.**, 1997, "*Material Science And Engineering*", Jhon Wiley&Sons, New York.
- [8] Gurit. 2014."Guide to Composite" <URL: <http://www.gurit.com/files/documents/guide-to-compositesv5webpdf.pdf>>
- [10] Efunda.2014. "Polymer Material Properties" <URL: [www.efunda.com/ Polymers Properties of Polyurethane {thermoset, casting resin, liquid}>](http://www.efunda.com/Polymers/Properties/Polyurethane%20thermoset,%20casting%20resin,%20liquid%20)

- [11] **Hull, Derek**, An Introduction To Composite Materials, Cambridge Solid State Science Series, Cambridge University, (1995)
- [12] **Febrianto, satrio**, Penggunaan metode VARI pada bahan komposit *sandwich* untuk aplikasi kapal bersayap wise-99, Universitas Indonesia(2011)
- [13] **Carlsson, and G.A. Kardomates** “structural adn failure mecanics of composit sandwich” 2010
- [14] DIAB, Divinycell, Matrix and ProBalsa, [www.diabgroup.com](http://www.diabgroup.com)
- [15] **Sandy, N.P**, Pengaruh Penambahan Prosentase Fraksi Volume *Hollow Glass Microsphere* Komposit Hibrid *Sandwich* Terhadap Karakteristik Tarik Dan Bending, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin ITS (2013)
- [16] Annual Book of ASTM Standards, D 790M-84, *Standard Test Method for Flexural and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials (Metric)*, American Society for Testing and Materials (1984).
- [17] ASTM, 1998, *Annual Book of ASTM Standart* Section 4, Vol.13, ASTM, New York, C 393 – 94.



## LAMPIRAN

### Gambar Spesimen Komposit *Skin* Dan Komposit *Sandwich* Setelah Pengujian



Gambar 1. Spesimen Uji Tarik Komposit *Skin*

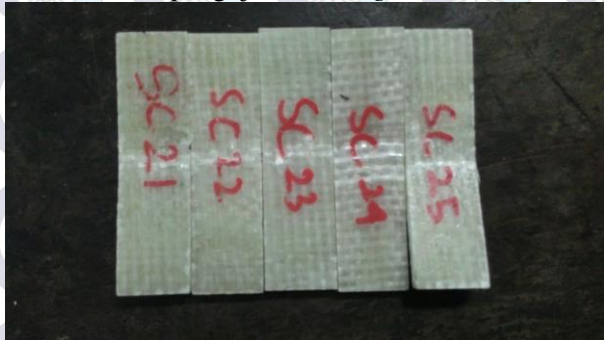


Gambar 2. Spesimen Komposit *sandwich* core 5mm setelah pengujian *bending*





Gambar 3. Spesimen Komposit *sandwich core 8mm* setelah pengujian *bending*

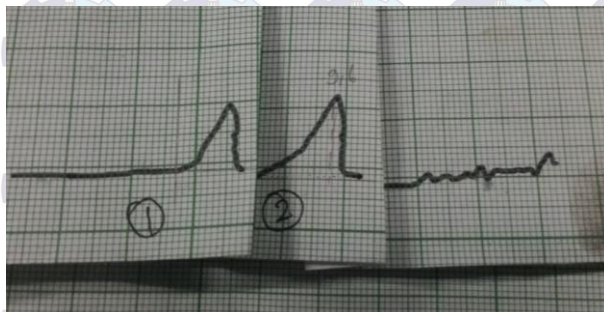


Gambar 4. Spesimen Komposit *sandwich core 2mm* setelah pengujian *bending*

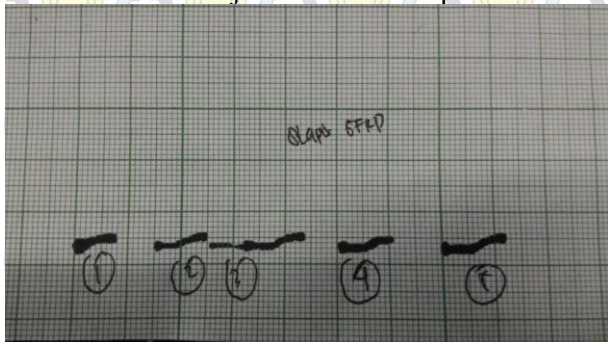


Gambar 5. spesimen uji bending komposit 8 lapis GFRP

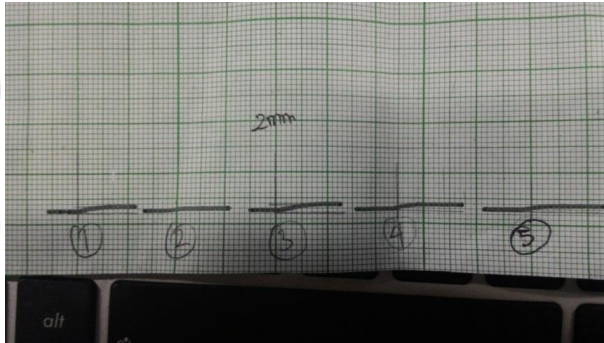
**Gambar Grafik pengujian tarik pada Skin Dan bending pada Komposit Sandwich.**



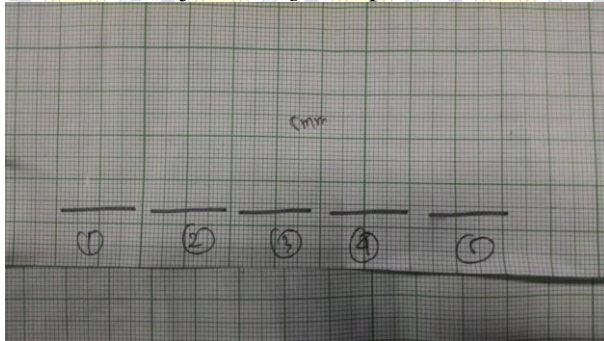
Gambar 6. Grafik Uji Tarik skin Komposit Sandwich



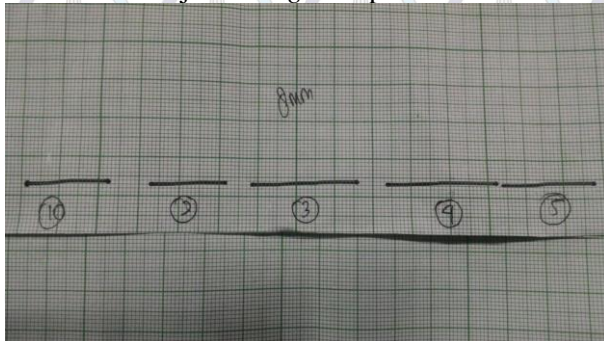
Gambar 7. Grafik Uji Bending Komposit 8 lapis GFRP



Gambar 8. Grafik Uji *Bending* Komposit Sandwich core 2mm



Gambar 9. Grafik Uji *Bending* Komposit Sandwich core 5mm



Gambar 10. Grafik Uji *Bending* Komposit Sandwich core 8mm



**Contoh perhitungan hasil pengujian *bending* pada komposit *sandwich* dengan tebal *core* 2 mm**

- Menentukan besar tegangan *bending* menurut ASTM C 393

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{PL}{2t(d+c)I} \\ &= \frac{1050 \text{ N}}{2 (0,002\text{m})(0,067\text{m}+0,002\text{m})0,03\text{m}} \\ &= 62647171 \text{ N/m}^2 \\ &= 62,647 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

- Menentukan besar tegangan geser inti(*core*) menurut ASTM C 393

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{P}{(d+c)b} \\ &= \frac{1050 \text{ N}}{(0,067\text{m}+0,002\text{m})0,03\text{m}} \\ &= 4,176 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

- Menentukan besar kekakuan *bending* menurut ASTM C 393

$$\begin{aligned}D &= \frac{E(d^3 - c^3)b}{12} \\ &= \frac{27450 \text{ Mpa} (0,067^3 \text{ m} - 0,002^3 \text{ m})0,03 \text{ m}}{12} \\ &= 3,266 \times 10^6 \text{ Nmm}^2\end{aligned}$$

**Contoh perhitungan hasil pengujian *tarik* pada *skin* komposit *sandwich***

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{Ao} \\ &= \frac{9700 \text{ N}}{0,03 \text{ m} \times 0,002 \text{ m}} \\ &= 1,62\text{E}+08 \text{ Mpa}\end{aligned}$$



$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$= \frac{0,02}{0,36}$$

$$= 0,0055 = 0,55\%$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$= \frac{1,62E+08 \text{ Mpa}}{0,55\%}$$

$$= 29100 \text{ Mpa}$$

### Contoh Perhitungan *Skin Komposit Sandwich*

Wf : 23,21 g

Total berat 4 lapis WR600 (Wf total) : 23,21 g x 4 = 92,84 g

Wr = Wf total x fraksi volume resin

$$Wr = 92,84 \times \frac{68}{32} = 197,258 \text{ g}$$

Vr = Wr / ρr

$$Vr = 197,258 \text{ g} / 1,3 \text{ g/cm}^3 = 151,757 \text{ cm}^3 = 151,757 \text{ ml}$$

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap **Pramaditya Ardiyanto** biasa dipanggil **Didit**. Berasal dari kota Yogyakarta dan lahir pada 22 November 1990. Dia adalah anak kedua dari tiga bersaudara putra dari bapak Ir.Suyanto dan Dra. Koesnawati

Pendidikan formal penulis dimulai tahun 1997 di SDN Babarsari Yogyakarta, kemudian melanjutkan di SMP 8 Yogyakarta. Setelah lulus SMP pada tahun 2006 penulis melanjutkan studinya ke SMA Negeri 3 Yogyakarta dan berhasil menamatkan pendidikan SMA pada tahun 2009. Penulis melanjutkan studi di jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya pada tahun 2009 dan mengambil konsentrasi studi bidang metallurgy.

Semasa menempuh pendidikan di Teknik. Mesin ITS, penulis aktif berorganisasi. Pada periode 2011/2012 pernah menjabat sebagai ketua M\*ITS AUTOSPORT. Pada tahun 2012 pernah menjabat sebagai Ketua Indonesia Energy Marathon Challenge. Selama bergabung dengan Lab. Metallurgy penulis aktif sebagai asisten dan grader praktikum PBT dan Metallurgy.